

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SEVERIDAD DE DAÑOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA DETERMINAR POSIBLES INTERVENCIONES

SAIR ALZATE ZULUAGA

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniería Civil

Lina Marcela Ramírez Jiménez
Ingeniera Civil - Especialista en vías y transporte



UNIVERSIDAD EIA
INGENIERÍA CIVIL
ENVIGADO

2019

CONTENIDO

	pág.
1. PRELIMINARES	10
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO	11
1.2.1 Objetivo General	11
1.2.2 Objetivos Específicos	11
1.3 MARCO DE REFERENCIA	12
1.3.1 Introducción	12
1.3.2 Tipos y severidad de daños en pavimentos	12
1.2.2 Tipos de intervención o reparación.	¡Error! Marcador no definido.
1.2.3 Validación de resultados con expertos	31
1.2.4 Probar la metodología de intervención	32
2. METODOLOGÍA	33
2.1 Proponer una metodología prototipo que califique el estado de un tramo de pavimento	33
2.2 Determinar la posible intervención	33
2.3 Validar los resultados con expertos para conocer la pertinencia del sistema	33
2.4 Probar la metodología de intervención ajustada a un tramo de prueba	34
3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	35
3.1 DISEÑO DE METODOLOGÍA PROTOTIPO DE INSPECCIÓN VISUAL Y EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS	35
3.1.1 Análisis de metodologías y manuales existente de inspección visual y evaluación de pavimentos	35
3.1.2 Selección de la metodología de evaluación de pavimentos	54
3.2 INTERVENCIONES PROPUESTAS Y ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS PARA LAS FALLAS SUPERFICIALES EN PAVIMENTOS FLEXIBLES	59
3.2.1 Intervenciones propuestas para fallas superficiales en pavimentos flexibles	59
3.2.2 Análisis de precios unitarios de las intervenciones propuestas	63
3.3 SELECCIÓN DE INTERVENCIÓN	65

3.3.1 Asignación de intervenciones iniciales a cada nivel de severidad de cada falla	65
3.3.2 Intervención propuesta desde el punto de vista económico	67
3.3.3 Intervención propuesta desde el punto de vista de conservación de la vía	69
3.3.4 Intervención recomendada definitiva	70
3.3.5 Prueba de la metodología	74
3.4 VALIDACIÓN DE METODOLOGÍA CON EXPERTOS	77
3.5 PROGRAMA COMPLEMENTARIO	78
4. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES	84
REFERENCIAS	86

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Manuales de inspección visual de pavimentos.....	13
Tabla 2. Comparación de niveles de severidad entre Manual para la inspección visual de pavimentos y Distress identification manual.....	25
Tabla 3. Unidad de medición de las diferentes fallas según el manual de inspección visual de pavimentos.....	25
Tabla 4. Unidad de medición según Distress identification manual.....	27
Tabla 5. Ecuaciones de los valores deducidos PCI.....	35
Tabla 6. Nivel de servicio e intervención propuesta PCI.....	36
Tabla 7. Formato de inspección visual de pavimentos flexibles PCI.....	38
Tabla 8. Longitud de unidades de muestreo.....	38
Tabla 9. Levantamiento de fallas formato PCI.....	39
Tabla 10. Calculo de CDV mediante proceso iterativo.....	46
Tabla 11. Evaluación de cada uno de los tramos mediante metodología PCI.....	48
Tabla 12. PCI segmento de vía.....	49
Tabla 13. Daños Tipo A Metodología VIZIR.....	50
Tabla 14. Daños Tipo B Metodología VIZIR.....	50
Tabla 15. Estado de la vía según el deterioro superficial del pavimento VIZIR.....	50
Tabla 16. Formato de levantamiento de fallas metodología VIZIR.....	51
Tabla 17. Índice de fisuración metodología VIZIR.....	52
Tabla 18. Índice de deformación metodología VIZIR.....	52
Tabla 19. Corrección por reparaciones en el pavimento metodología VIZIR.....	52
Tabla 20. Resultado del levantamiento y evaluación del pavimento mediante la metodología VIZIR.....	53
Tabla 21. Índice de deterioro superficial VIZIR.....	53
Tabla. 22. Comparativo de los resultados de la evaluación del pavimentos con las metodologías PCI y VIZIR.....	54
Tabla 23. Fallas de Tipo A y B según la metodología VIZIR.....	57
Tabla 24. Diferencia de los rangos de evaluación entre las metodologías PCI y VIZIR.....	58
Tabla 25. Intervenciones posibles opción 1.....	59
Tabla 26. Intervenciones posibles opción 2.....	60
Tabla 27. Intervenciones posible opción 3.....	61
Tabla 28. Fallas en pavimentos flexibles PCI.....	63
Tabla 29. Intervenciones definitivas.....	63
Tabla 30. Intervenciones definitivas con precio unitario.....	64
Tabla 31. Intervenciones recomendadas inicialmente.....	65
Tabla 32. Rangos de cantidades para las intervenciones.....	67
Tabla 33. Rangos de deterioros con base a la PCI.....	71
Tabla 34. Resultados de la metodología en el segmento de vía analizado.....	74
Tabla 35. Resultados de la metodología usando la macro.....	80

Tabla 36. Diferencia en el cálculo de la PCI de forma manual vs automática..... 83

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Fisuras longitudinales.....	16
Ilustración 2. Fisuras en juntas de construcción.....	17
Ilustración 3. Fisuras en media luna.....	17
Ilustración 4. Piel de cocodrilo.....	17
Ilustración 5. Daño en forma de ondulación	18
Ilustración 6. Daño por abultamiento	18
Ilustración 7. Baches	18
Ilustración 8. Pérdida de agregado	19
Ilustración 9. Afloramiento de agua.....	19
Ilustración 10. Exudación	20
Ilustración 11. Pulimiento de agregados.....	20
Ilustración 12. Cabezas duras	21
Ilustración 13. Falla por rigidización de la mezcla asfáltica	21
Ilustración 14. Falla por riego de liga insuficiente	22
Ilustración 15. Falla por problemas de talud	23
Ilustración 16. Afloramiento de finos por mal subdrenaje.....	24
Ilustración 17. Reconstrucción tridimensional	30
Ilustración 18. Deflectómetro de impacto	30
Ilustración 19. Segmento de vía destinada para probar las metodologías de inspección visual de pavimentos	37
Ilustración 20. Corrección de valores deducidos PCI	45
Ilustración 21. Índice de condición del pavimento para cada tramo PCI	49
Ilustración 22. Evaluación del pavimento en cada tramo mediante la metodología VIZIR.....	53
Ilustración 23. Índice de deterioro superficial VIZIR.....	55
Ilustración 24. Índice de condición del pavimento PCI	55
Ilustración 25. Falla del tipo piel de cocodrilo en el segmento de vía estudiado	56
Ilustración 26. Zona óptima de rehabilitación	70
Ilustración 27. Diagrama de flujo de la metodología propuesta	72
Ilustración 28. Evaluación PCI vs Costo de mantenimiento	77
Ilustración 29. Información inicial de la vía, macro	78
Ilustración 30. Información específica de la vía, macro	79
Ilustración 31. Formulario de la macro	79

GLOSARIO

AUSCULTACIÓN DE PAVIMENTOS: procedimientos para evaluar las condiciones en las que se encuentra el pavimento de un segmento de vía, midiendo aspectos propios del pavimento como deflexiones máximas, rugosidad, ahullamiento, resistencia al deslizamiento, levantamiento de fallas, estado de drenaje superficial, entre otros.

INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS: procedimiento realizado en campo para reconocer las fallas superficiales presentes en un segmento de vía pavimentado.

MANUAL DE INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS: guía que orienta y sirve de apoyo para los profesionales al momento de tomar los datos de un levantamiento de fallas de un segmento de vía pavimentado.

PCI: manual de inspección visual de pavimentos, denominado así por sus siglas en inglés (PAVAMENT CONDITION INDEX)

VIZIR: manual de inspección visual de pavimentos de origen francés

RESUMEN

El presente trabajo pretende proponer una metodología de evaluación y determinación de posibles intervenciones para el pavimento flexible de un segmento de vía, buscando dar prioridad siempre a conservar un buen estado del pavimento y disminuir costos de mantenimiento.

En la actualidad las entidades y concesionarios encargados de realizar el mantenimiento y la gestión de las vías cuentan con una serie de dificultades que les impiden tener estandarizados los procesos de mantenimiento para una vía y constantemente queda a criterio de algunos especialistas la decisión final sobre el tipo de intervención que requiera la vía, es por esta razón que se busca proponer una metodología que ayude a determinar la intervención que requiere el pavimento de un segmento de vía, basándose en el levantamiento de fallas del pavimento y un análisis económico.

Inicialmente este trabajo pretendía utilizar los resultados del “Aplicación móvil para inspección de pavimentos”, sin embargo, este proyecto debido a ciertos inconvenientes no ha logrado detectar de manera automática las fallas en pavimentos, es por esta razón que para la presente tesis se realiza nuevamente la toma de datos en campo.

Con el fin de establecer una línea base para la metodología se toma como referencia las metodologías de inspección visual y evaluación de pavimentos existentes, estas metodologías se utilizaron para el levantamiento inicial de los datos en una vía del municipio de Rionegro, Antioquia.

Las metodologías son, PCY y VIZIR, realizando un análisis de los resultados obtenidos con cada una de ellas, se propone una metodología de evaluación de pavimentos flexibles y con esta metodología se establecen unos rangos con el fin de determinar de manera matemática las posibles intervenciones.

Palabras claves: PCI, VIZIR, auscultación de pavimentos, inspección visual de pavimentos, posibles intervenciones.

ABSTRACT

On the following paper we pretend to show a new methodology to evaluate and determinate possible interventions in order to avoid interventions on one segment of the flexible pavement by highlighting and prioritizing the good condition of the road and by decreasing maintenance fees.

Currently, developers and concession holders in charge of running roads show some problems which impede harmonize road maintenance procedures; in consequence, specialists make last minute decisions about the kind of intervention the road needs. That's the reason we suggest a methodology that helps to determine the kind of intervention required for some pavement segments of the road focus on pavement fails surveys and on an economic analysis.

At the beginning, this paper wanted only to use the results of « pavement mobile survey app. However, this project was not able to track down automatically these pavement fails, that's why on this dissertation we get new data taken in the field again.

In order to establish a methodological base line, we took like model some visual inspection methodologies and build up pavements evaluation, these methodologies were useful for starting data surveys on one road of Rionegro town, Antioquia. These methodologies are PCY and VIZIR, by analyzing gotten results with each one of them, we suggest a new methodology for flexible pavements evaluation by setting new ranges in order to determine possible interventions based on mathematics.

Keywords: PCI, VIZIR, pavement auscultation, visual inspection of pavements, interventions.

1. PRELIMINARES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las vías en Colombia presentan uno de los problemas más recurrentes en los pavimentos flexibles, los cuales son los deterioros ocasionados por la repetición de ciclos de carga sobre la estructura a lo largo de toda su vida útil, lo que disminuye considerablemente su nivel de servicio si no se tratan a tiempo. Esta condición de los pavimentos en Colombia, no solo es evidenciada por los usuarios de las vías, sino también por el informe técnico del INVIAS del semestre 2018 II, en el cual reportan que de las vías pavimentadas solo el 47.19% se encuentra en un estado excelente o bueno (INVIAS, 2019).

Pero el mantenimiento y las tareas de reparación de los pavimentos no son una tarea fácil, ya que son muchos los factores que pueden intervenir en la aparición de estos daños, como la rigidización de la carpeta asfáltica, reflexión de grietas de las carpetas inferiores, riego de liga insuficiente, poco espesor de la capa de rodadura, falla de taludes, fallas en las obras de contención, problemas de drenaje, falta de curado de la mezcla en la vía, circulación de cargas más pesadas de las planificadas, entre otros. Además de que en algunos casos no es fácil encontrar la causa de las fallas. Si a todos estos factores le sumamos que en muchas ocasiones no son realizadas de forma adecuada o eficiente las actividades de mantenimiento tenemos como resultado la convivencia constante con las fallas en las vías que usamos.

A partir de estas dificultades han nacido diferentes manuales tanto de inspección como de mantenimiento, dispositivos y metodologías para llevar a cabo con un mayor orden y eficiencia todas las actividades que contempla el mantenimiento de los pavimentos flexibles. Entre los manuales más usados en Colombia se encuentran el MANUAL DE INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, MANUAL PARA EL MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES y THE DISTRESS IDENTIFICATION MANUAL de origen estadounidense. Todos estos manuales son aplicados a metodologías manuales que básicamente se usan como una herramienta práctica para ser empleada por ingenieros, a fin de realizar un informe de los daños durante la inspección visual, que permita identificar el tipo, la magnitud y la severidad de los mismo, así como su localización y los sectores de vía más afectados. Posterior a la recopilación de toda la información se debe realizar un análisis y procesamiento de los datos, que permite observar los porcentajes de afectación por tipo de falla, la severidad y encontrar los segmentos de vía que se encuentra más afectados. Para que, por último, a criterio de uno o varios ingenieros se determine cuáles son las intervenciones que requiere cada uno de los segmentos de vía (Porrás Díaz, Ramon Suarez, Mejia Melgarejo, & Parra Rodriguez, 2014).

Por otro lado, el MANUAL PARA EL MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES del INVIAS busca orientar a los ingenieros acerca de cuál puede ser la intervención de cierto tipo de daños con una información completa de las afectaciones que tiene la vía y se usa en zonas específicas donde se encuentran los daños, no observa de manera general un segmento de vía, por lo que no brinda herramientas para conocer el estado de la vía en general. Todos estos métodos hacen referencia a metodologías manuales tanto de recolección de datos, como de determinación de la intervención para las vías.

Los problemas y dificultades que presentan estas metodologías manuales, es que se hacen de manera muy lenta, costosa y peligrosa, ya que para la adquisición de datos se requiere de ingenieros y auxiliares en campo tomando las medidas y la información de los daños que presentan los segmentos de vía que se desean analizar, posteriormente se debe procesar toda la información. Además, se tienen las diferencias de criterios de los ingenieros tanto en la inspección visual de los pavimentos, como en la determinación de la intervención que requiere cada segmento de vía.

Las metodologías automáticas para la adquisición de datos de datos son cámaras análogas y cámaras digitales para información en 2 dimensiones, que generalmente son usados con video cámaras equipadas en camionetas o mini vans, pero tras la necesidad de modelar tridimensionalmente las fallas de los pavimentos, surgen los sistemas de captación de datos tridimensionales, que se logran hacer con el apoyo de otros dispositivos actuando en conjunto con la video cámara, dispositivos como: proyectores, fuentes y receptores de ondas coherentes, láseres o fuentes y lectores de infrarrojo. Posteriormente a la captación de las imágenes del segmento de vía analizado, se debe procesar la información mediante equipo y personal especializado. Los métodos automáticos podrían proveer grandes beneficios como seguridad, eficiencia y objetividad al momento de la recolección de datos del estado de la vía. Pero ha tenido algunos inconvenientes para su implementación como que la recolección de datos es fundamental para los sistemas de gestión de pavimentos, pues son los datos que nutren todo el ciclo de mantenimiento, por esta importancia ha sido difícil su aceptación, para reemplazar la recolección de datos efectuada por profesionales en campo. Los datos adquiridos de forma automática tienen otras limitaciones y dificultades como los altos costos, requieren de personal y equipo especializado para el procesamiento de datos, en algunas ocasiones suelen aparecer sombras y aberraciones que dificultan la lectura de la información (Porras et al.,2014).

A partir de las dificultades mencionadas anteriormente, se observa la necesidad de proponer una metodología que elimine la diferencia de criterios de los ingenieros al momento de determinar la mejor intervención posible para el pavimento de un segmento de vía, partiendo de las metodologías y manuales de inspección y evaluación de vías existentes.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2.1 Objetivo General

Proponer una metodología que a través de la calificación del estado de las vías de pavimento flexible determine la intervención más adecuada para la vía, desde el punto de vista económico y preservando la condición funcional y estructural de la vía, basado en la inspección de imágenes.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Seleccionar una metodología que califique el estado de un tramo de pavimento flexible a partir de información de los daños como, el tipo, la severidad y la longitud.
- Determinar la posible intervención a partir de la calificación del tramo de vía y la

inspección de imágenes, priorizando en esta elección aspectos económicos y de conservación de la vía.

- Validar los resultados con expertos para conocer la pertinencia del sistema de intervención.
- Probar la metodología de intervención ajustado en un tramo de prueba, estimando los costos de mantenimiento.

1.3 MARCO DE REFERENCIA

1.3.1 Introducción

Los pavimentos son diseñados para soportar cargas vehiculares proyectadas en un determinado tiempo o vida útil, pero existen algunos factores que pueden acelerar el deterioro de la estructura antes de lo previsto, como lo son grandes cambios de temperatura, humedad, errores en los diseños de las capas o de la mezcla asfáltica, falla de taludes, falla de obras de contención, falta de confinamiento lateral, entre otras. A partir de estos deterioros prematuros de la estructura vial nace la necesidad de realizar inspecciones rutinarias que permitan conocer el estado de la vía y determinar si se requiere algún tipo de intervención. Para facilitar estos procesos surgen los sistemas de gestión de pavimentos (PMS, por sus siglas en inglés), que como los define la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), son un enfoque sistemático que provee las herramientas de análisis económico e ingenieril requeridas para la toma de decisiones costo-efectivas con respecto a las estrategias de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción. Los sistemas de gestión de pavimentos se dividen en cuatro etapas las cuales son recolección de datos, modelos y análisis, criterio y optimización y por último implementación. La principal función de la recolección de datos es tener siempre la información del estado actualizado de las vías y a partir de estos datos diseñar modelos que permitan conocer el comportamiento de la vía en un futuro, posteriormente con el uso de los datos adquiridos se debe considerar un conjunto de niveles de intervención.

Se denominan pavimentos flexibles a aquellos cuya estructura deforma o se deflacta bajo el efecto de las cargas, por lo que trasmite mayores esfuerzos a las capas inferiores, por ende, este tipo de pavimentos conllevan un mejor tratamiento de la superficie donde se dispondrá la carpeta asfáltica. Los pavimentos rígidos no requieren de capa base a diferencia de la mayoría de los pavimentos flexibles además de que al no deformarse tanto bajo las cargas, se producen menos tensiones en la subrasante.

1.3.2 Manuales de inspección visual de pavimentos

Existen variados manuales para la inspección visual de pavimentos, como los que se presentan en la tabla 1, Los manuales de inspección visual de pavimentos más usados en Colombia como el MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VÍAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES y THE DISTRESS IDENTIFICATION MANUAL FOR THE LONG-TERM PAVEMENT PERFORMANCE PROGRAM cuentan con estructuras similares. Inicialmente se componen por un capítulo que brindan características propias de cada tipo de falla para que puedan ser reconocidas y calificadas, lo cual es de gran importancia ya que de

esto depende el área de afectación y el posible tratamiento. Posteriormente se define como se registran y reportan los daños encontrados en un segmento de vía, con el uso de los formatos que contiene cada manual.

Las principales diferencias de estos manuales es que EL MANUAL THE DISTRESS IDENTIFICATION MANUAL, no solo considera pavimentos flexibles, sino que cuenta con otras secciones en las cuales se explica y define como realizar la inspección visual para pavimentos rígidos conectados con placas y pavimentos rígidos continuos. Mientras que el MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS SOLO CONSIDERA PAVIMENTOS FLEXIBLES. Otra de las grandes diferencias se puede observar en cómo se definen los niveles de severidad, los cuales se muestran para una fisura longitudinal en la tabla 2, donde se puede observar que los niveles del manual de inspección visual de pavimentos flexibles son más estrictos.

A pesar de que estos manuales son una gran herramienta para los ingenieros a la hora de establecer las zonas más afectadas de un tramo de vía y el estado de la vía en general, dichos manuales no proponen los tipos de intervención que requiere la vía, ni el momento más adecuado para hacerlo, ya que esta decisión es dejada al criterio de los ingenieros.

Se cree que para Colombia puede ser de mayor utilidad el uso del MANUAL DE INSPECCIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, ya que es un manual colombiano que considera la severidad de las fallas teniendo en cuenta las estructuras viales con las que cuenta el país, mientras que el manual THE DISTRESS IDENTIFICATION MANUAL puede ser menos estricto definiendo la severidad de las fallas, ya es un manual estadounidense, en el que sus vías pueden tener condiciones totalmente distintas a las colombianas, ya sea por factores constructivos o de diseño, sin mencionar que las cargas, el clima y geotecnia son totalmente distintas.

Tabla 1. Manuales de inspección visual de pavimentos

Manual	Registro de inspección	Muestras	Índices	Entidad que elaboró el manual
Distress identification manual for the long-term pavement performance program	Formularios	NO	NO	US Department of transportation -federal Highway administration

Manual	Registro de inspección	Muestras	Índices	Entidad que elaboró el manual
Instructivo de inspección visual de caminos pavimentados	Formularios	SI	NO	Gobierno de Chile- Departamento de gestión vial
Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras	NO	NO	NO	Consejo Sectorial de ministerio de transporte de Centroamérica - secretaria de integración económica
Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles	Formularios	NO	Descripción del análisis de los datos	INVIAS- Universidad Nacional de Colombia
Pavement distress survey manual	Formularios	NO	NO	Oregon Department of Transportation- USA
Standard practice for roads and parking lots pavement condition index survey	NO	NO	PCI	American Society for testing and materials (ASTM)
SDDOT's enhanced pavement management system visual distress survey manual	Formularios	SI	Pavement deficient index	South Dakota Department of Transportation-USA

Fuente: (Porras Díaz, Ramón Suarez, Mejía Melgarejo, & Parra Rodríguez, 2014)

1.3.3 Tipos de daño

Existen diferentes tipos de daños y cada uno de ellos señala alguna dificultad que está presentando la carpeta asfáltica o la estructura vial, por esto es de gran importancia hacer una clasificación adecuada del tipo de falla, ya que de lo contrario se podría incurrir en sobrecostos por el tratamiento de algún daño de forma inadecuada. Los daños reportados en los pavimentos flexibles se dividen en 5 partes las cuales son fisuras, deformaciones, perdidas de las capas de la estructura, daños superficiales y por último otros daños. A continuación, se presenta la separación de los tipos de daños realizada por el MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES hecho por el *Instituto nacional de vías* (INVIAS) y la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá (INVIAS, 2006).

Fisuras:

- Fisuras longitudinales y transversales
- Fisuras en juntas de construcción
- Fisuras por reflexión de juntas
- Fisuras en media luna
- Fisuras de borde
- Fisuras en bloque
- Piel de cocodrilo
- Fisuras por deslizamiento de capas
- Fisuración incipiente

Deformaciones:

- Ondulaciones
- Abultamiento
- Hundimiento
- Ahuellamiento

Perdida de las capas estructurales:

- Descascaramiento
- Baches
- Parche

Daños superficiales:

- Desgaste superficial

- Pérdida de agregado
- Pulimiento de agregado
- Cabezas duras
- Exudación
- Surcos

Otros daños:

- Corrimiento vertical de la berma
- Separación de la berma
- Afloramiento de finos
- Afloramiento de agua

En el siguiente segmento se explican características de las posibles fallas superficiales de pavimentos, con la intención de reconocer mejor cada una de ellas.

- Fisuras longitudinales y transversales: Las fisuras son pequeñas grietas o discontinuidades en la carpeta asfáltica que pueden ser tanto transversales como paralelas a la dirección de los automóviles, son el claro indicio de la aparición de fuerzas de tensión y su posición de aparición son claves para determinar la causa que las origina.

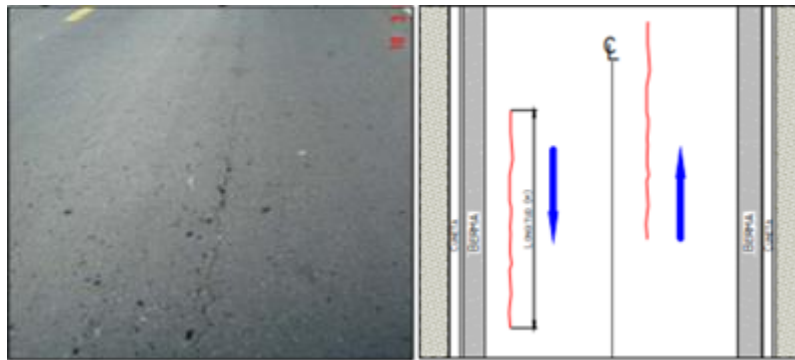


Ilustración 1. Fisuras longitudinales

Fuente: (INVIAS, 2006)

- Fisuras en juntas de construcción: Corresponden a fisuras generadas por la mala ejecución de las juntas de construcción de la carpeta asfáltica generalmente localizadas entre dos etapas de colocación del pavimento asfáltico, pueden ser tanto transversales como longitudinales.

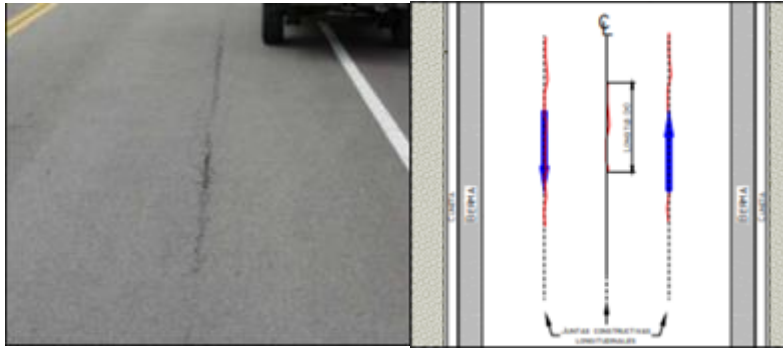


Ilustración 2. Fisuras en juntas de construcción

Fuente: (INVIAS, 2006)

- Fisuras en media luna: Son fisuras en forma parabólica asociadas al movimiento de la banca por lo que generalmente se presentan acompañadas de hundimientos, pero de debe tener especial cuidado y entender que este tipo de daños se clasifican como daño por fisura en media luna y no como un hundimiento.



Ilustración 3. Fisuras en media luna

Fuente: (INVIAS, 2006)

- Piel de cocodrilo: Son fisuras interconectadas con patrones irregulares generalmente ubicadas en las zonas de repetición de cargas, las fisuras tienden a empezar en el fondo de la carpeta asfáltica ya que en esta zona los esfuerzos por tracción son mayores.



Ilustración 4. Piel de cocodrilo

Fuente: (INVIAS, 2006)

- Ondulación: Este tipo de daño se caracteriza por la presencia de ondas en la superficie de la carpeta asfáltica, en su mayoría aparecen en dirección perpendicular a la de los vehículos, y presentan generalmente longitudes entre crestas menores a 1.0 metro.

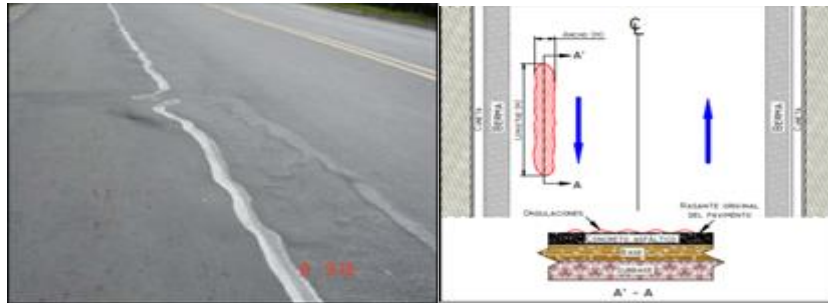


Ilustración 5. Daño en forma de ondulación

Fuente: (INVIAS, 2006)

- Abultamiento: Este deterioro se presenta como el abultamiento o las prominencias presentadas en la superficie del pavimento, pueden presentarse de manera brusca en pequeñas secciones o paulatinamente en secciones grandes.



Ilustración 6. Daño por abultamiento

Fuente: (INVIAS, 2006)

- Baches: Este tipo de daño es la desintegración total de la carpeta asfáltica que deja expuesto los materiales granulares y capas inferiores de la estructura vial, con la aparición de este tipo de daño el área afectada se va incrementando considerablemente con el tiempo por la acción de los vehículos la cual hace que se siga perdiendo material. Este tipo de falla es fácilmente identificable y también incluye los ojos de pescado, que son baches con una forma redondeada (INVIAS, 2006).



Ilustración 7. Baches

Fuente: (INVIAS, 2006)

- **Perdida de agregado:** Corresponde a disgregación superficial de la capa de rodadura debido a la pérdida gradual de agregados, haciendo la superficie más rugosa y exponiendo de manera progresiva los materiales a la acción del tránsito y de los agentes climáticos.



Ilustración 8. Perdida de agregado

Fuente: (INVIAS, 2006)

- **Afloramiento de agua:** Presencia de líquido en la superficie del pavimento, en momentos en los cuales no hay lluvia.



Ilustración 9. Afloramiento de agua

Fuente: (INVIAS, 2006)

- **Exudación:** Este tipo de falla es el afloramiento del ligante asfáltico sobre la superficie del pavimento, volviendo la superficie del pavimento brillante y resbaladizo.

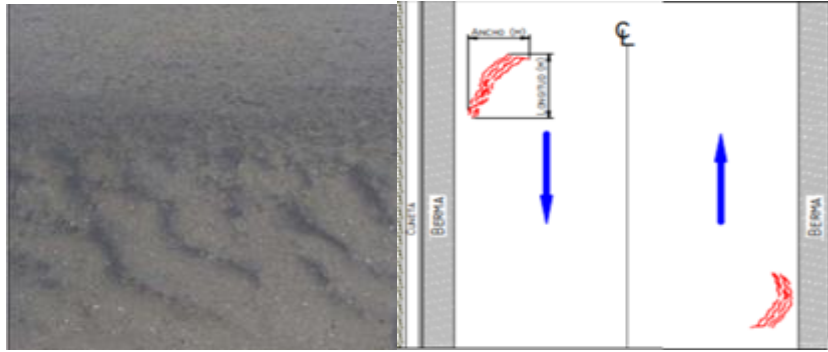


Ilustración 10 Exudación

Fuente: (INVIAS, 2006)

- Pulimiento de agregados: Este daño se evidencia por la presencia de agregados con caras planas en la superficie o por la ausencia de agregados angulares, en ambos casos se puede llegar a ver afectada la resistencia.

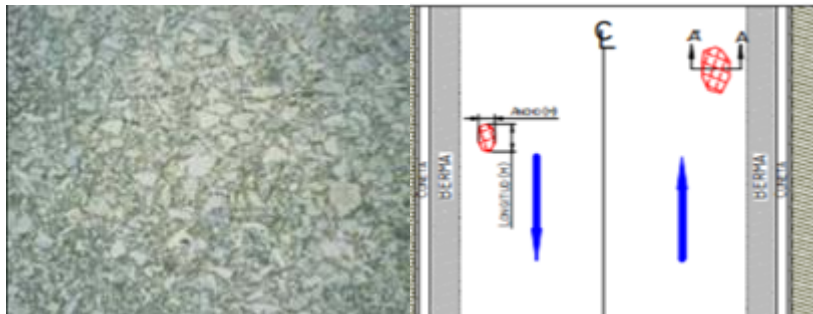


Ilustración 11. Pulimiento de agregados

Fuente: (INVIAS, 2006)

- Cabezas duras: Corresponde a la presencia de agregados expuestos fuera de la mezcla asfáltica, que pueden llegar a aumentar la rugosidad del pavimento, provocando un ruido molesto y excesivo para el conductor.

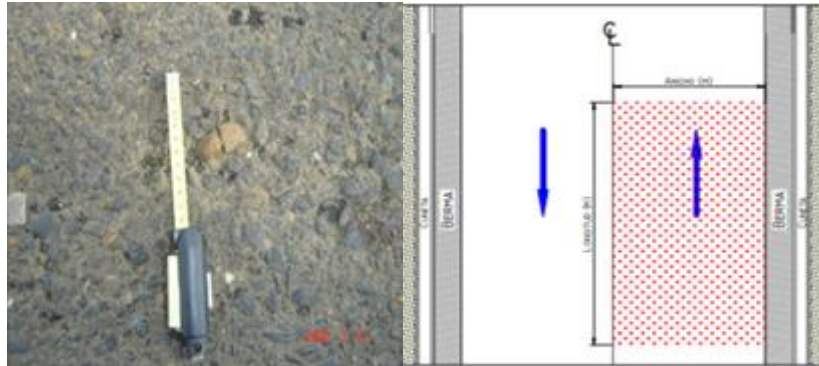


Ilustración 12. Cabezas duras

Fuente: (INVIAS, 2006)

1.3.4 Causas

Las causas están asociadas a cada una de las fallas o daños, pero en este segmento se hablará de las diferentes causas en general sin atribuirles a un daño específico.

- Rigidización de la mezcla asfáltica: La Rigidización de la carpeta asfáltica hace referencia a la pérdida de flexibilidad de esta, generalmente ocasionado por exceso de filler (es un polvo mineral de pequeñas partículas que pasan por el tamiz de 0.063 mm que se mezcla con las sustancias bituminosas a altas temperaturas con la intención de rigidizar la carpeta asfáltica). Otras causas de la rigidización son el envejecimiento del asfalto y gradientes térmicos altos de aproximadamente 30° o más. Algunos daños por fisuras son asociados a esta causa (INVIAS, 2006).



Ilustración 13. Falla por rigidización de la mezcla asfáltica

Fuente: (INVIAS, 2006)

- Reflexión de grietas de las capas inferiores, generadas en materiales estabilizados o por juntas existentes en placas de concreto subyacente.
- Fatiga de la estructura: Puede ser el resultado de demandas de cargas mayores a las proyectadas.
- Zonas de contacto entre corte y terraplén por la diferencia de rigidez de los materiales de la subrasante, ligados usualmente a fisuras transversales.
- Riego de liga insuficiente o ausencia total



Ilustración 14. Falla por riego de liga insuficiente

Fuente: (INVIAS, 2006)

- Espesor insuficiente de la capa de rodadura, asociado a fisuras transversales.
- Unión de materiales de diferente rigidez
- Deficiencia de compactación en las zonas de juntas
- Carencia de ligantes en las paredes de las juntas, ligado a fisuras longitudinales en juntas de construcción
- Movimiento entre las juntas de concreto rígido, generado por los cambios de temperatura y humedad, muy común en las uniones con puentes. Esta causa es relacionada con el tipo de daño fisuras por reflexión en juntas.
- Falla lateral de taludes en zonas de terraplén, atribuido a fisuras en media luna
- Falle del talud en zonas de corte, atribuido a fisuras en media luna (INVIAS, 2006).



Ilustración 15. Falla por problemas de talud

Fuente: (INVIAS, 2006)

- Ausencia o fallos de obras de contención, atribuido a fisuras en media luna
- Deseccación producida por la presencia de árboles muy cerca de la vía
- Combinación del cambio volumétrico del agregado fino de la mezcla asfáltica con el uso de asfalto de baja penetración
- Espesor de algunas capas de la estructura insuficientes
- Deformaciones de la subrasante
- Problemas de drenaje
- Compactación de deficiente de las capas granulares
- Reparaciones mal ejecutadas
- Alto contenido de arena en la carpeta asfáltica, asociada a daños como fisuras
- Lluvia durante la colación del concreto asfáltico
- Pérdida de estabilidad de la mezcla asfáltica: Este tipo de inestabilidad se presenta por la mala dosificación del asfalto, uso de ligantes muy blandos o agregados con pocas caras fracturadas o totalmente redondas, asociado a daños de tipo ondulación.
- Falta de curado de la mezcla en la vía
- Exceso de riego de liga, asociado a daños de tipo ondulación.
- Asentamiento de la subrasante
- Circulación de tránsito demasiado pesado, asociado a daños de tipo hundimiento
- Limpieza insuficiente previa a tratamientos superficiales
- Mezcla asfáltica muy permeable
- Falta de adherencia entre el asfalto y los agregados
- Acción intensa del agua
- Aplicación regular de ligantes
- Uso de agregados contaminados con finos o agregados muy absorbentes
- Contaminación de la capa de rodadura con agentes externos como aceite, gasolina, entre otros
- Uso de agregados con distribución granulométrica deficiente
- Heterogeneidad muy marcada en la dureza de los agregados
- Ausencia o inadecuado sistema de subdrenaje



Ilustración 16. Afloramiento de finos por mal subdrenaje

Fuente: (INVIAS, 2006)

Esta es una compilación de las diferentes causas que afectan a los pavimentos y que se representan por medio de los daños en la vía, es importante conocer bien todas estas causas ya que de este depende realizar una intervención adecuada (INVIAS, 2006).

1.3.5 Severidad y unidad de medición de los daños

La severidad de las fallas es el nivel de daño que presenta cada una de ellas y se suele clasificar por aspectos como la profundidad y longitud de la falla, aunque los criterios de clasificación varían para cada una.

Esta sección es en la cual los manuales de inspección determinan parte de la forma como se deben registrar los daños, definiendo aspectos tan importantes como en qué nivel de severidad (baja, media y alta) y como se debe medir el área afectada por el daño o la falla. En este segmento se encuentran importantes diferencias entre los diferentes manuales, por hablar de los más conocidos en Colombia como el manual de inspección visual para pavimentos flexibles y el Distress identification manual for the long-term pavement performance program, consideran con valores muy distintos la severidad de cada uno de los daños. Para ejemplificar lo expuesto con anterioridad a continuación se presentan los criterios para determinar la severidad de una fisura longitudinal tanto para el manual de inspección visual para pavimentos flexibles como para el Distress identification manual for the long-term pavement performance program.

Tabla 2. Comparación de niveles de severidad entre Manual para la inspección visual de pavimentos y Distress identification manual

Fisura longitudinal		
Niveles de severidad	Manual de inspección visual para pavimentos flexibles	Distress identification manual for the long-term pavement performance program
Bajo	Fisuras ≤ 1 mm	Fisuras ≤ 6 mm
Medio	Fisuras >1 mm & ≤ 3 mm	Fisuras >6 mm & ≤ 19 mm
Alto	Fisuras >3 mm	Fisuras > 19 mm

Fuente: (INVIAS, 2006)

Como se puede observar en la imagen anterior es más exigente el manual colombiano al clasificar el tipo de daño. A continuación, se presentará la unidad de medición para los diferentes tipos de daño y si se define o no un nivel de severidad, para ambos manuales de inspección visual.

Tabla 3. Unidad de medición de las diferentes fallas según el manual de inspección visual de pavimentos

Tipo de daño	Unidad de medida	Define niveles de severidad
Fisuras longitudinales y transversales	m	SI
Fisuras en juntas de construcción	m	SI
Fisuras por reflexión de juntas	m	SI
Fisuras en media luna	m ²	SI

Tipo de daño	Unidad de medida	Define niveles de severidad
Fisuras de borde	m	SI
Fisuras en bloque	m ²	SI
Piel de cocodrilo	m ²	SI
Fisuras por deslizamiento de capas	m ²	SI
Fisuración incipiente	m ²	N. A
Ondulaciones	m ²	SI
Abultamiento	m ²	SI
Hundimiento	m ²	SI
Ahuellamiento	m ²	SI
Descascaramiento	m ²	SI
Baches	m ²	SI
Parche	m ²	SI
Desgaste superficial	m ²	SI
Pedida de agregado	m ²	SI
Pulimiento de agregado	m ²	N. A
Cabezas duras	m ²	N. A
Exudación	m ²	SI

Tipo de daño	Unidad de medida	Define niveles de severidad
Surcos	m ²	N. A
Corrimiento vertical de la berma	m	SI
Separación de la berma	m	SI
Afloramiento de finos	Mirar aclaración	SI
Afloramiento de agua	m	N. A

Fuente: (INVIAS, 2006)

Tabla 4. Unidad de medición según Distress identification manual

Distress Type	Unit of measure	Defined severity levels
Fatigue cracking	Square Meters	YES
Block cracking	Square Meters	YES
Edge cracking	Meters	YES
Wheel path longitudinal cracking	Meters	YES
Non-Wheel path longitudinal cracking	Meters	YES
Transverse reflection cracking	Not Measured	N/A

Distress Type	Unit of measure	Defined severity levels
Longitudinal reflection cracking	Not Measured	N/A
Transverse cracking	Number, Meters	YES
Path/patch deterioration	Number, Square Meters	YES
Potholes	Number, Square Meters	YES
Rutting	Millimeters	NO
Shoving	Number, Square Meters	NO
Bleeding	Square Meters	NO
Polished aggregate	Square Meters	NO
Raveling	Square Meters	NO
Lane to shoulder drop-off	Not Measured	N/A
Water bleeding and pumping	Number, Meters	NO

Fuente: (U.S. Department of Transportation, 2003)

1.3.6 Adquisición de datos

Adquisición de datos de forma manual

La adquisición de los datos sobre el estado del pavimento es de gran importancia dentro de las labores de mantenimiento y reparación de pavimentos, ya que es una de las tareas más costosas y

de la calidad de los datos depende la toma de decisiones sobre la intervención a la vía. Existen dos métodos de recolección de datos de forma manual, los cuales son a pie y por medio de automóvil en movimiento. La primera de estas es una forma minuciosa de realizar las inspecciones sobre la vía, la cual se realiza con una plantilla de profesionales y auxiliares en campo que van tomando la información de cada una de las fallas que encuentran en el tramo de vía estudiado, de esta manera identifican de forma precisa todos los daños y su posición. Pero esta metodología de recolección de datos es costosa, lenta y peligrosa, por la cantidad de personal que necesita sobre la vía. Por otra parte, se tiene la recolección de datos en automóvil, que puede abarcar un tramo más largo en menor tiempo y sin el peligro de estar caminando por el borde de la vía, pero tienen un problema que radica en que no realiza inspecciones tan minuciosas y detalladas como se puede lograr utilizando la metodología de recolección de datos a pie.

Estas metodologías de recolección de datos de forma manual se apoyan en los formatos de los manuales anteriormente vistos, para registrar de una manera más organizada y eficiente toda la información sobre el estado de la vía.

Adquisición de datos mediante imágenes

A partir del desarrollo tecnológico de los dispositivos de obtención de imágenes, surgió la posibilidad de realizar la recolección de datos del estado de un tramo de pavimentos de forma automática. Los primeros enfoques se basan en la adquisición de datos mediante el uso de imágenes analógicas, las cuales graban en la superficie de una película por medio de cambios químicos, mecánicos o magnéticos. En la captación de imágenes de pavimentos son utilizadas películas fotográficas de 35 mm y cinta de video, la limitación del uso de imágenes analógicas para la adquisición de datos del pavimento es que dichas imágenes son difíciles de manipular sin que se introduzca ruido en la imagen original, además de que su integración con otro tipo de datos resulta compleja si no se cuenta con equipos de producción de video de gama alta.

Con el avance de la tecnología surgieron las imágenes digitales y se eliminó una de sus limitantes que una simple imagen requiere millones de datos y sin la capacidad de almacenar esta información resultaba casi imposible hablar de este tipo de imágenes. El funcionamiento de las imágenes digitales se basa en una foto electrónica conformada por una cantidad determinada de elementos llamados píxeles, a cada píxel se le asigna un valor relacionado con el tono, en matices de gris o color, posteriormente los píxeles son almacenados en una computadora en código binario, para finalmente interpretar la información o poder mostrar la imagen.

La claridad y distinción de pequeños detalles por parte de las imágenes digitales fue de gran utilidad para la recolección de información de pavimentos por medio de imágenes, pero aún seguía faltando un detalle de gran importancia para esta tarea, y era la información tridimensional para poder conocer mejor el estado de las fallas por medio de su profundidad y lograr tener una información del estado del pavimento completa y confiable. A partir de esta necesidad surgieron los sistemas de reconstrucción tridimensional, los cuales forman un objeto con base en la información de la superficie con varias posiciones en el espacio, originando un modelo digital en un sistema específico de coordenadas

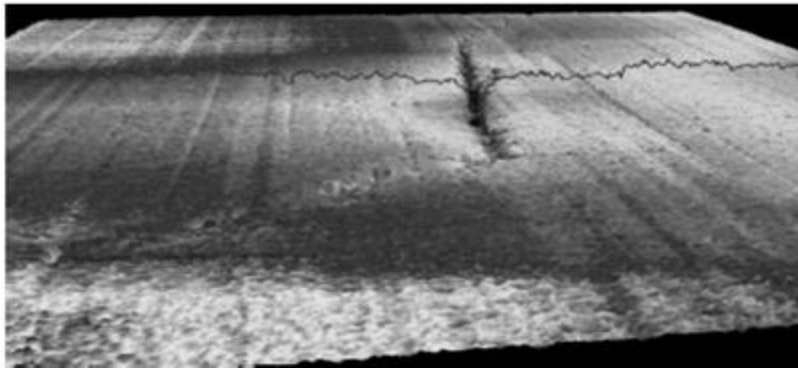


Ilustración 17. Reconstrucción tridimensional

Fuente: (Porrás Diaz, Ramon Suarez, Mejia Melgarejo, & Parra Rodriguez, 2014)

Deflectómetro de impacto

El deflectómetro de impacto es uno de los métodos alternativos para la obtención de datos de forma automática sobre el estado de la vía, este dispositivo logra determinar la deflexión de la estructura vial. La medida de la deflexión se realiza mediante siete sensores que se sitúan debajo de la placa de carga, que es un elemento que le produce golpes a la carpeta asfáltica, los sensores se sitúan uno debajo de placa de carga, mientras que los demás se ubican a distancias variables de hasta 2,5 metros del punto de impacto. Gracias al uso de geófonos en la medida de las deflexiones elimina la necesidad de tener un sistema de referencia, obteniendo valores desde 10-3 mm con una precisión de hasta el 0.5%. Generalmente el equipo es remolcado por una camioneta, lo cual brinda ventajas al momento de desplazarse por todas las zonas de la vía que se desean analizar



Ilustración 18. Deflectómetro de impacto

Fuente: (Higuera, 2009)

A continuación, se presentan las intervenciones recomendadas por el manual de mantenimiento de la red vial realizado por el INVIAS, dependiendo el tipo de falla, la elección de la intervención dentro de cada falla dependerá de la severidad de esta.

- Pérdidas de agregado: Las intervenciones recomendadas para este tipo de daño son riego en negro, tratamiento superficial simple o parcheo.
- Pérdida de la capa de rodadura: Parcheo en superficies de rodadura asfáltica, tratamiento superficial simple, nivelación con sobrecarpeta con mezclas asfálticas en frío o caliente
- Baches u ojos de pescado: Parcheo, bacheo o realizar caja y parchear.
- Exudación del asfalto: Riego de arena, sin importar la severidad
- Pulimiento de agregados: Sello con arena asfalto.
- Cabezas duras: Nada en ocasiones de severidad baja y nivelación con sobrecarpeta con mezcla asfáltica en caliente para los demás niveles de severidad.
- Daños estructurales: Bachea, de acuerdo con la actividad de la vía.
- Ondulaciones: Nada en nivel de severidad bajo y renivelación con sobrecarpeta con mezcla asfáltica caliente para los demás niveles de severidad.
- Grieta longitudinal: Sello de fisuras y grietas.
- Grieta transversal: Sello de fisuras y grietas.
- Falla en bloque: Sello de fisuras y grietas o nivelación con sobrecarpeta con mezcla asfáltica fría o caliente.
- Piel de cocodrilo: Sello de fisuras y grietas, tratamiento superficial simple o parcheo.

1.3.7 Validación de resultados con expertos

Se espera validar la metodología de selección de intervención con la evaluación de los tramos de vía estudiados para conocer que tan pertinente es la metodología en las intervenciones propuestas y los costos de las mismas, de esta manera poder realizar las correcciones que se crean necesarias para ajustar lo mejor posible la metodología de intervención.

El juicio de expertos es un método de validación bastante útil para determinar la fiabilidad de una investigación que se define como una opinión informada de personas con trayectoria en el tema, que son reconocidos por otros como expertos, y que pueden dar información, evidencia y valoraciones de mucha utilidad para poder definir las carencias y dificultades de la investigación.

Para el proyecto en particular es especialmente útil este tipo de validación ya que se pretende realizar una propuesta que no sólo evalúe el estado de la vía, sino que también determine el mejor tipo de intervención desde el punto de vista económico y de preservación de la vía. Siendo de gran utilidad que los expertos determinen la idoneidad de las intervenciones propuestas, obtenidas mediante una recolección bibliográfica (que también está relacionado con el aspecto económico, ya que si se deja deteriorar mucha la vía se puede incurrir en sobrecostos).

Existen diferentes metodologías para realizar la validación con el panel de expertos, desde las más sencillas donde simplemente se le envía a cada uno de los expertos que van a realizar la validación

la información correspondiente y se les pide que hagan su valoración y posteriormente se recopila la información de cada uno de los expertos y llega a un resultado. Pasando por otras metodologías más complejas donde se puede poner en discusión las opiniones de cada uno de los expertos de manera anónima o no, para que con la interacción de cada una de las opiniones de los expertos se llegue a un resultado que puede ser distinto a si se hubiera hecho de otra forma. También se pueden realizar retroalimentación con los expertos con la intención de que al final se tenga una metodología aprobada por los expertos. Se espera trabajar con los expertos mediante una mesa de trabajo donde se les envíe con antelación toda la información de la metodología de intervención para posteriormente discutirla en una reunión presencial de aproximadamente dos horas de duración. También se espera trabajar de una manera más sencilla donde únicamente se envía toda la información a cada uno de los expertos y se espera que devuelvan un documento con todas las observaciones que encontraron en la revisión de la información

1.3.8 Probar la metodología de intervención

Finalmente se deberá probar la metodología de intervención propuesta, donde se requiere seguir al pie de la letra cada una de las directrices o protocolos estipulados por la metodología de intervención, en aras de utilizarla esta de una manera adecuada y poder obtener los resultados esperados.

Se debe tener en cuenta que la metodología de intervención puede requerir de datos, análisis o cálculos previos al uso de la metodología. Información que no hace parte de la metodología, pero sin la cual no se podría utilizar. Por ultimo también es recomendado entender la metodología que se va a usar para reconocer la idoneidad de los resultados o detectar posibles errores en el uso de esta.

2. METODOLOGÍA

2.1 Seleccionar una metodología que califique el estado de un tramo de pavimento

Inicialmente se seleccionaron los manuales de inspección visual y metodologías de evaluación de pavimentos que se creyeron pertinentes para evaluar la condición superficial del pavimento, las metodologías seleccionadas fueron la condición superficial del pavimento PCI y el índice de deterioro superficial VIZIR.

Después se procedió a buscar una vía para poner a prueba las metodologías, se buscó una vía que fuera representativa en cuanto al número de fallas y que no contara con un alto flujo vehicular. En la vía seleccionada se realizó un levantamiento de fallas con los manuales de ambas metodologías, donde fue necesario el uso de equipos como flexómetro, pie de rey y celular con cámara fotográfica.

Finalmente se probaron ambas metodologías con los datos del levantamiento de fallas de la vía seleccionada y se seleccionó la metodología de evaluación de la condición del pavimento con la que se iba a trabajar.

2.2 Determinar la posible intervención para cada una de las fallas

Al inicio del proyecto se tenía previsto alimentar la metodología de intervención con un dispositivo elaborado por la empresa CONASFALTOS, con el que se podría obtener información de las fallas superficiales presentes en el pavimento flexible de un segmento de vía mediante imágenes, lamentablemente este dispositivo no funcionó como se esperaba por lo que se optó por alimentar la metodología de intervención mediante la información obtenida en el levantamiento de fallas. Con la intención de poder seguir con el proyecto.

El primer paso fue determinar las intervenciones o actividades de mantenimiento para tratar todas las fallas superficiales presentes en los pavimentos flexibles. Con las intervenciones definidas se procedió a realizar el análisis de precios unitarios a cada una de las actividades de mantenimiento para determinar el costo unitario y el rendimiento de cada una.

Posteriormente se definieron entre una y tres posibles intervenciones para cada uno de los niveles de severidad de cada falla. A partir de estas intervenciones iniciales se definieron unos rangos mínimos de cantidades para determinar las posibles intervenciones desde el punto de vista económico. También se definió la intervención recomendada desde el punto de vista de conservación de la vía a través de la intervención recomendada desde el punto de vista económico y las intervenciones recomendadas inicialmente.

Finalmente se procedió a determinar las actividades de mantenimiento definitivas para cada falla a través de la intervención económica, la intervención de conservación de la vía y la evaluación de la condición del pavimento PCI.

2.3 Validar los resultados con expertos para conocer la pertinencia del sistema

Para validar los resultados con los expertos se realizó una mesa de trabajo con los profesionales Lina Ramírez y Zamir Sánchez, a quienes se les envió con antelación toda la información de la metodología para que tuvieran una idea clara del proyecto previo a la reunión. También se realizó la validación de la metodología con los profesionales Diego Gómez y Beatriz Agudelo, a quienes de

les envió toda la información mediante correo electrónico y posteriormente enviaron un documento con las observaciones.

2.4 Probar la metodología de intervención ajustada a un tramo de prueba

Una vez se obtuvieron las observaciones de los expertos se desarrolló un programa complementario en la plataforma Visual Basic de Excel, con la intención de usar la metodología de una manera más rápida y eficiente. Por último, se probó la metodología en el segmento de vía seleccionado anteriormente.

3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 SELECCIÓN DE METODOLOGÍA DE INSPECCIÓN VISUAL Y EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

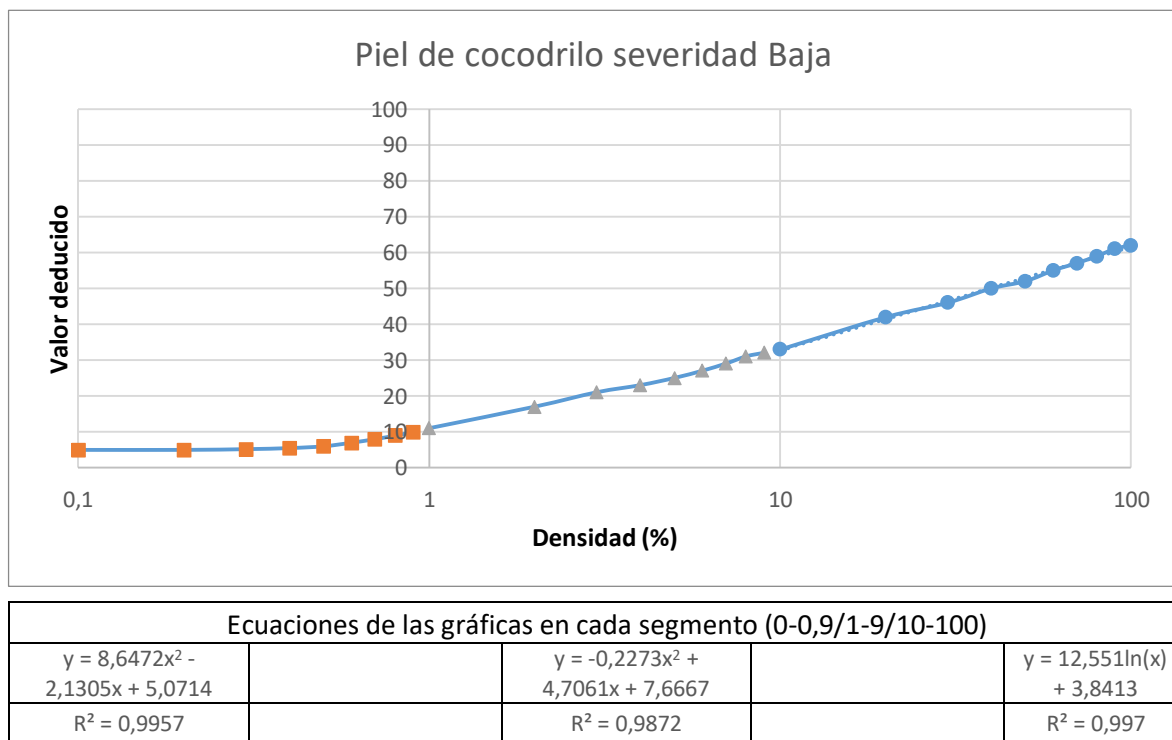
3.1.1 Análisis de metodologías y manuales existente de inspección visual y evaluación de pavimentos

3.1.1.1 Índice de Condición del Pavimento (PCI)

El índice de condición del pavimento (PCI) es una de las metodologías más completas para la evaluación y calificación del estado de los pavimentos de un segmento de vía, gracias a que cuenta con una descripción detallada de cada una de las posibles fallas, una guía para reportar los daños del pavimento y cada una de sus severidades y un método para a través de las fallas encontradas determinar en qué estado se encuentra el pavimento del segmento de vía.

Una de las características especiales que tiene la PCI, es que cuenta con los valores deducidos, los cuales ayudan a ponderar el deterioro de la vía por cada una de las fallas, su nivel de severidad y densidad de la misma. De esta manera se soluciona la dificultad de poder abarcar todas las fallas en la evaluación final del estado de la vía. El PCI cuenta con un índice numérico que va desde 0 hasta 100, donde 0 es un pavimento fallado o en muy mal estado, mientras que 100 es un pavimento en perfecto estado, además cuenta con una descripción del nivel de servicio y una intervención propuesta para unos rangos determinados del estado de la vía.

Tabla 5. Ecuaciones de los valores deducidos PCI



Fuente: (Varela, 2002)

Tabla 6. Nivel de servicio e intervención propuesta PCI

	VALOR PCI (estado de la vía)	Nivel de servicio	Intervención propuesta
100			
	EXCELENTE	A	Mantenimiento rutinario
85			
	MUY BUENO	B	Mantenimiento preventivo
70			
	BUENO	C	Procesos leves de rehabilitación
55			
	REGULAR	D	Procesos considerables de rehabilitación
40			
	MALO	E	Procesos considerables de rehabilitación
25			
	MUY MALO	F	Reconstrucción
10			
	FALLADO	F	Reconstrucción
0			

Fuente: (Pavement Condition Index Method, 2005)

Inicialmente para probar la metodología de la PCI fue necesario buscar un segmento de vía que tuviera muchas fallas para que el ejercicio fuera más representativo y que no contara con un alto flujo vehicular para poder realizar las mediciones sin entorpecer la circulación de los vehículos o correr algún riesgo innecesario al realizar las mediciones. De todos los segmentos de vía analizados se decidió trabajar con un segmento de vía ubicado en la carrera 47 de Rionegro Antioquia, que conecta al municipio con la autopista MEDELLÍN-BOGOTÁ, entre la fábrica de POSTOBON y la empresa Nacional de Chocolates, el cual contaba con una carpeta asfáltica que se notó bastante afectada, incluso antes de realizar el proceso de inspección visual.

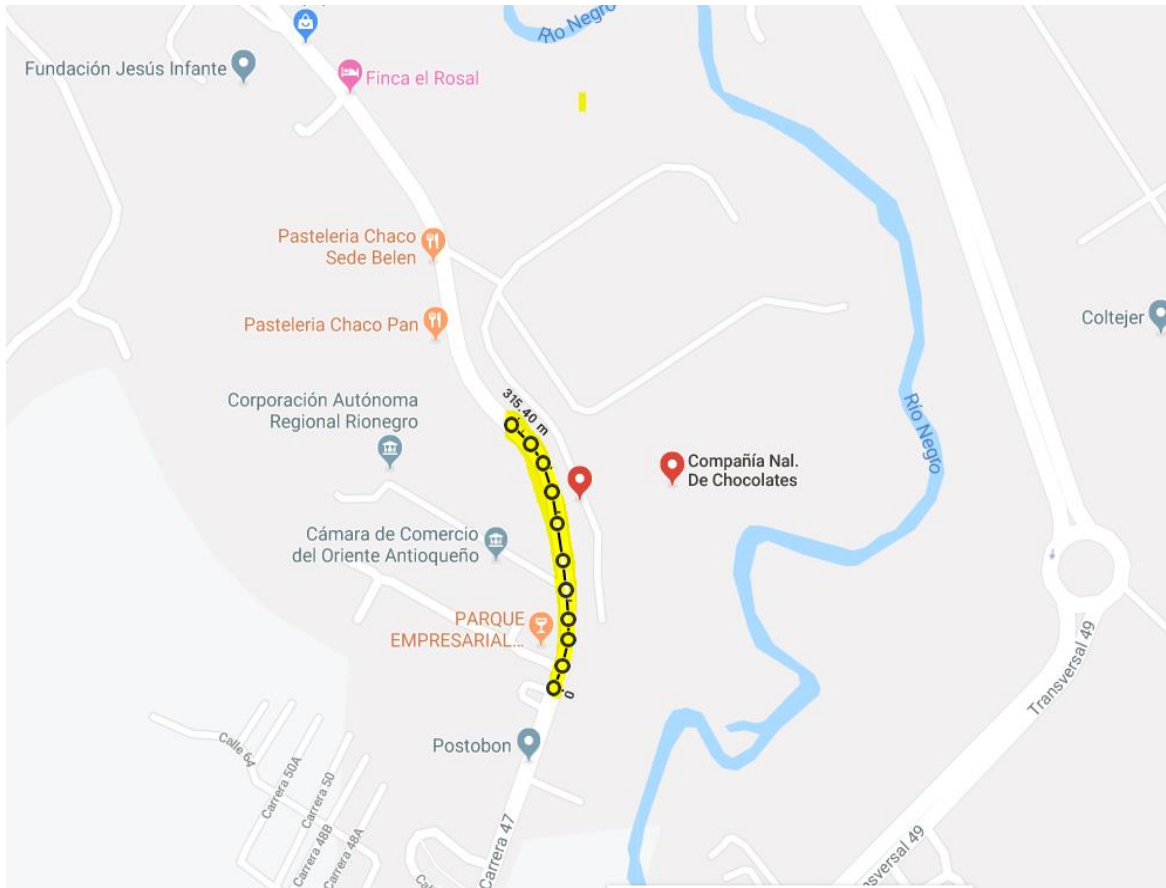


Ilustración 19. Segmento de vía destinada para probar las metodologías de inspección visual de pavimentos

Fuente: (google maps 2019)

Posteriormente se procedió a realizar el trabajo de campo con el levantamiento de las fallas en el segmento de vía seleccionado, las mediciones se realizaron diferentes días entre las 7 a.m. y las 10 a.m. aprovechando el bajo flujo vehicular a estas horas, en este procedimiento se utilizaron herramientas como pie de rey, flexómetro, lápiz y el formato de inspección visual de pavimentos flexibles de la metodología PCI, donde se registró información general de la vía e información específica de cada una de las fallas con las que contaba el pavimento de la vía, como tipo de daños, severidad y dimensiones.

Tabla 7. Formato de inspección visual de pavimentos flexibles PCI

INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO					
PCI-01. CARRETERAS CON SUPERFICIES ASFALTICAS					
ZONA		ABSCISA INICIAL		UNIDAD DE MUESTREO	
CODIGO VÍA		ABSCISA FINAL		ÁREA DE MUESTREO (M2)	
				FECHA	

No	Daño		No	Daño
	1 Piel de cocodrilo		11	Parqueo
	2 Exudación		12	Pulimiento de agregados
	3 Agrietamiento en bloque		13	Hueco
	4 Abultamientos y hundimientos		14	Cruce de vía ferrea
	5 Corrugación		15	Ahullamiento
	6 Depresión		16	Desplazamiento
	7 Grieta de borde		17	Grieta parabólica (slippage)
	8 Grieta de reflexión o junta		18	Hinchamiento
	9 Desnivel/carril berma		19	Desprendimiento de agregados
	10 Grietas long y transversal			

Daño	Severidad	Cantidades parciales	Total	Densidad	Valor ddeducido

Fuente: (Pavement condition index method, 2005)

La primera etapa para realizar el levantamiento de las fallas es dividir la totalidad de la vía que se quiere analizar en secciones o unidades de muestreo, en las cuales la longitud de la sección varia en relación con el ancho de la vía que se quiere analizar, como se observa a continuación.

Tabla 8. Longitud de unidades de muestreo

LONGITUD DE UNIDADES DE MUESTREO ASFÁLTICAS	
Ancho de calzada (m)	Longitud de la unidad de muestreo (m)
5,0	46,0
5,5	41,8
6,0	38,3
6,5	35,4
7,3 (máximo)	31,5

Fuente: (Pavement condition index method, 2005)

En la vía analizada se contaba con un ancho de calzada de 10.6 metros, por lo que correspondió trabajar con unidades de muestreo de un largo de 31.5 metros.


Después de determinar la longitud de las unidades de muestreo, se debe seleccionar las unidades de muestreo que se van a analizar, ya que, en muchas ocasiones, el segmento de vía que es tan grande que resulta muy complicado y costoso realizar el estudio a cada una de las unidades de muestreo. En el caso del presente estudio no fue necesario realizar la selección de las unidades de muestreo, dado que el segmento de vía que se analizó no era tan grande por lo que se optó por estudiar todas las unidades de muestreo. En total fueron 10 unidades de muestreo que se analizaron, cada una con una longitud de 31.5 metros, lo que totalizo en un segmento de vía de 315 metros, a continuación, se presenta el resultado de la inspección visual del pavimento con el formulario de la PCI, separado por cada uno de los tramos.

Tabla 9. Levantamiento de fallas formato PCI

TRAMO 1					
Daño	Severidad	Cantidades parciales	Total	Densidad	Valor deducido
01	H	28,14 + 12,65 + 6,76	47,55	14,241%	64
13	L	0,054 + 0,046	0,1	0,030%	9
11	M	6,36	6,36	1,905%	14
11	L	26,13 + 5,94 + 7,02 + 7,42	46,51	13,929%	16
03	M	95,2	95,2	28,512%	25



TRAMO 2					
Daño	Severidad	Cantidades parciales	Total	Densidad	Valor deducido
03	M	110,25	110,25	33,019%	28
03	L	151,2	151,2	45,283%	19
					



TRAMO 3					
Daño	Severidad	Cantidades parciales	Total	Densidad	Valor deducido
13	L	0,034	0,034	0,010%	3
01	M	75,6	75,6	22,642%	57
01	L	103,68	103,68	31,051%	46
					



TRAMO 4					
Daño	Severidad	Cantidades parciales	Total	Densidad	Valor deducido
11	L	6,36 + 4,32 + 40,18	50,86	15,232%	20
11	M	3,6	3,6	1,078%	10
01	M	135,68 + 30,78 + 29,25	195,71	58,613%	69
13	L	0,06 + 0,0264	0,0864	0,026%	34




TRAMO 5					
Daño	Severidad	Cantidades parciales	Total	Densidad	Valor deducido
01	M	94,5	94,5	28,302%	60
11	L	2,1	2,1	0,629%	1
01	H	97,65	97,65	29,245%	76



TRAMO 6					
Daño	Severidad	Cantidades parciales	Total	Densidad	Valor deducido
11	M	0,77	0,77	0,231%	4
01	L	94,5	94,5	28,302%	46
03	M	89,77	89,77	26,885%	27
					
TRAMO 7					
Daño	Severidad	Cantidades parciales	Total	Densidad	Valor deducido
13	L	0,086	0,086	0,026%	8
03	L	47,25	47,25	14,151%	11
03	M	40,95	40,95	12,264%	18
					

TRAMO 8					
Daño	Severidad	Cantidades parciales	Total	Densidad	Valor deducido
11	M	1,26	1,26	0,377%	5
10	L	3,8+2,5+8+20,8+22,3+11,1	68.5	20,515%	12
01	L	47,25	47,25	14,151%	35
					
TRAMO 9					
Daño	Severidad	Cantidades parciales	Total	Densidad	Valor deducido
10	L	20,2+12,3+8,3+4,2+20,5+9,6+13,4	88.5	26,032%	15
03	M	40,95	40,95	12,264%	18
					

TRAMO 10					
Daño	Severidad	Cantidades parciales	Total	Densidad	Valor deducido
03	M	36,04 + 22,95 + 104,5	163,49	48,964%	35
11	M	5,04	5,04	1,509%	12
01	H	3,57	3,57	1,069%	31
11	L	20,02	20,02	5,996%	11
13	L	0,06	0,0608	0,018%	6
					

El valor que se presenta en la columna “Total” es la suma de las cantidades parciales de cada clase de daño y nivel de severidad, mientras que la columna denominada “Densidad” es el resultado de dividir el valor total sobre el área de la sección analizada, que para el presente estudio equivale a 333.9 m², el cual resulta de multiplicar la longitud (31.5) por el ancho de la calzada (10.6). Posteriormente con los valores de densidad obtenidos se debe calcular los valores deducidos mediante las gráficas correspondientes para cada falla.

Al obtener los valores deducidos se procede a calcular el índice de condición del pavimento de cada tramo estudiado de la siguiente forma. En caso de que ninguno o tan solo uno de los valores deducidos sea mayor a 2, se usa el “Valor Deducido Total” el cual corresponde a la suma de todos los valores deducidos y este valor es restado al número 100 para obtener el índice de condición del pavimento de cada tramo.

$$\text{Índice de condición de pavimento (PCI)} = 100 - \text{Valor Deducido Total}$$

En el segmento de vía estudiada ninguno de los tramos presento la condición anterior, ya que en todos los tramos se tuvieron dos o más valores deducidos que superaban el valor de 2, por lo que el índice de condición del pavimento de cada una de las unidades de muestreo debió ser calculado de la siguiente manera. Se debe ordenar los valores deducidos obtenidos en cada tramo en orden

descendente, posteriormente se debe calcular el “Número Máximo Admisible de Valores Deducidos” (m) utilizando la siguiente ecuación:

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) * (100 - HDV)$$

Donde:

m: Número máximo admisible de valores deducidos.

HDV: El mayor valor deducido de las unidades de muestreo.

La cantidad de valores deducidos se reduce a m, inclusive la parte fraccionaria, (es decir que, si m es igual a 5,2 y se tienen 7 valores deducidos, solo se trabajara con los 5 primeros valores deducidos y con el 0.2 del sexto valor deducido). En caso de que el número de valores deducidos con los que se cuenta sea menor a m, se usan todos los valores deducidos.

Posteriormente se debe realizar un proceso iterativo que se describe a continuación:

- Determinar el número de valores deducidos mayores a 2, que se denomina con la letra “q”
- Determinar el “Valor Deducido Total” el cual se obtiene sumando todos los valores deducidos individuales
- Determinar el CDV con q y el Valor Deducido Total en la curva de corrección.
-

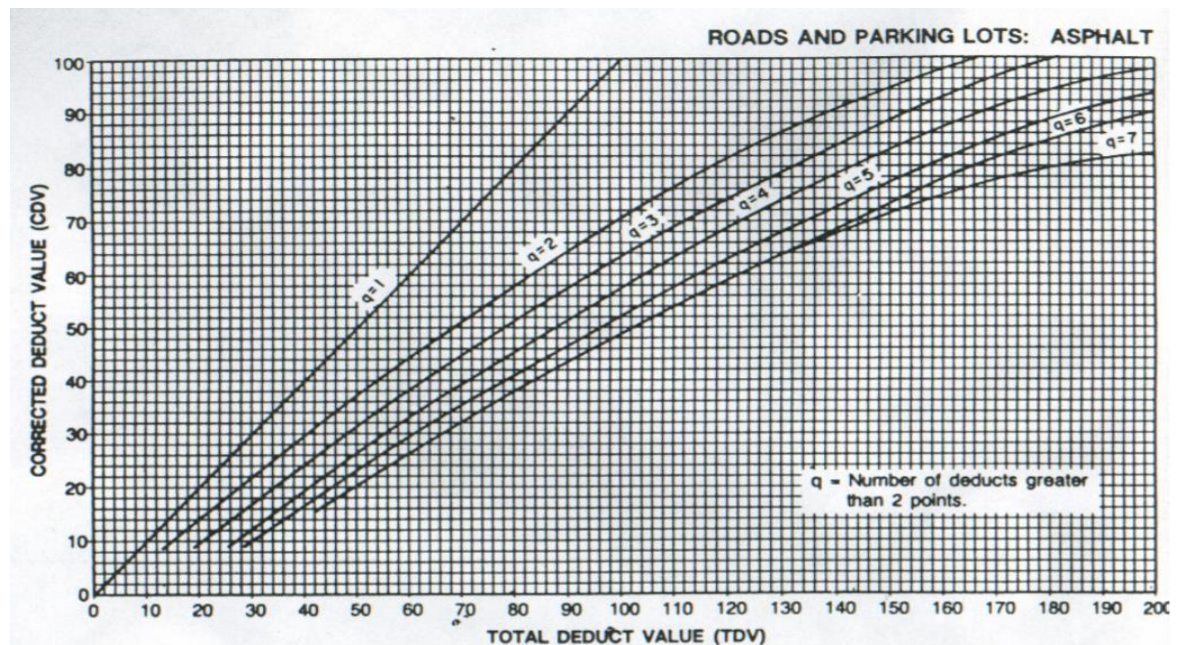


Ilustración 20. Corrección de valores deducidos PCI

Fuente: (Pavement condition index method, 2005)

- Reducir a 2 el menor de los “Valores Deducidos” individuales que sean mayor a 2 y repetir los pasos anteriores hasta que q sea igual a 1.

A continuación, se presenta el cálculo de los Valores Deducidos Corregidos (CDV) de cada uno de los procesos iterativos para cada tramo. Subrayado con amarillo se encuentran los mayores Valores deducidos corregidos de cada tramo analizado.

Tabla 10. Calculo de CDV mediante proceso iterativo

TRAMO 1								
No	Valores deducidos					Total	q	CDV
1	64	25	16	14	2,79	121,79	5	63
2	64	25	16	14	2	121	4	69
3	64	25	16	2	2	109	3	69
4	64	25	2	2	2	95	2	65
5	64	2	2	2	2	72	1	72

TRAMO 2					
No	Valores deducidos		Total	q	CDV
1	28	19	47	2	37
2	28	2	30	1	30

TRAMO 3						
No	Valores deducidos			Total	q	CDV
1	57	46	3	106	3	66
2	57	46	2	105	2	75
3	57	2	2	61	1	61

TRAMO 4							
No	Valores deducidos				Total	q	CDV
1	69	34	20	8,5	131,5	4	75
2	69	34	20	2	125	3	79
3	69	34	2	2	107	2	73
4	69	2	2	2	75	1	75

TRAMO 5					
No	Valores deducidos		Total	q	CDV
1	76	60	136	2	88
2	76	2	78	1	78

TRAMO 6						
No	Valores deducidos			Total	q	CDV
1	46	27	4	77	3	48
2	46	27	2	75	2	55
3	46	2	2	50	1	50

TRAMO 7						
No	Valores deducidos			Total	q	CDV
1	18	11	8	37	3	22
2	18	11	2	31	2	23
3	18	2	2	22	1	22

TRAMO 8						
No	Valores deducidos			Total	q	CDV
1	35	12	5	52	3	32
2	35	12	2	49	2	38
3	35	2	2	39	1	39

TRAMO 9					
No	Valores deducidos		Total	q	CDV
1	25	18	43	2	26
2	25	2	27	1	20

TRAMO 10								
No	Valores deducidos					Total	q	CDV
1	35	31	12	11	6	95	5	52
2	35	31	12	11	2	91	4	51
3	35	31	12	2	2	82	3	53
4	35	31	2	2	2	72	2	53
5	35	2	2	2	2	43	1	43

El último paso que se realizó para calcular el Índice de Condición del Pavimento (PCI) fue tomar los Máximos Valores Deducidos Corregidos (máx. CDV) de cada tramo y restarlos a un valor de 100, de esta manera se obtiene el valor de la PCI para cada tramo.

$$\text{Índice de condición de pavimento (PCI)} = 100 - \max \text{CDV}$$

A continuación, se presenta los valores del Índice de Condición del Pavimento (PCI) para cada uno de los tramos evaluados, acompañados de la posible intervención recomendada por el manual de la PCI y el nivel de servicio del tramo.

Tabla 11 Evaluación de cada uno de los tramos mediante metodología PCI

PCI	Estado del pavimento	Nivel de Servicio	Posible intervención
TRAMO 1			
28	MALO	E	Procesos considerables de rehabilitación
TRAMO 2			
63	BUENO	C	Procesos leves de rehabilitación
TRAMO 3			
25	MUY MALO	F	Reconstrucción
TRAMO 4			
21	MUY MALO	F	Reconstrucción
TRAMO 5			
12	MUY MALO	F	Reconstrucción
TRAMO 6			
45	REGULAR	D	Procesos considerables de rehabilitación
TRAMO 7			
77	MUY BUENO	B	Mantenimiento preventivo
TRAMO 8			
61	BUENO	C	Procesos leves de rehabilitación
TRAMO 9			
74	MUY BUENO	C	Procesos leves de rehabilitación
TRAMO 10			
47	REGULAR	D	Procesos considerables de rehabilitación

Fuente: (Pavement condition index method, 2005)

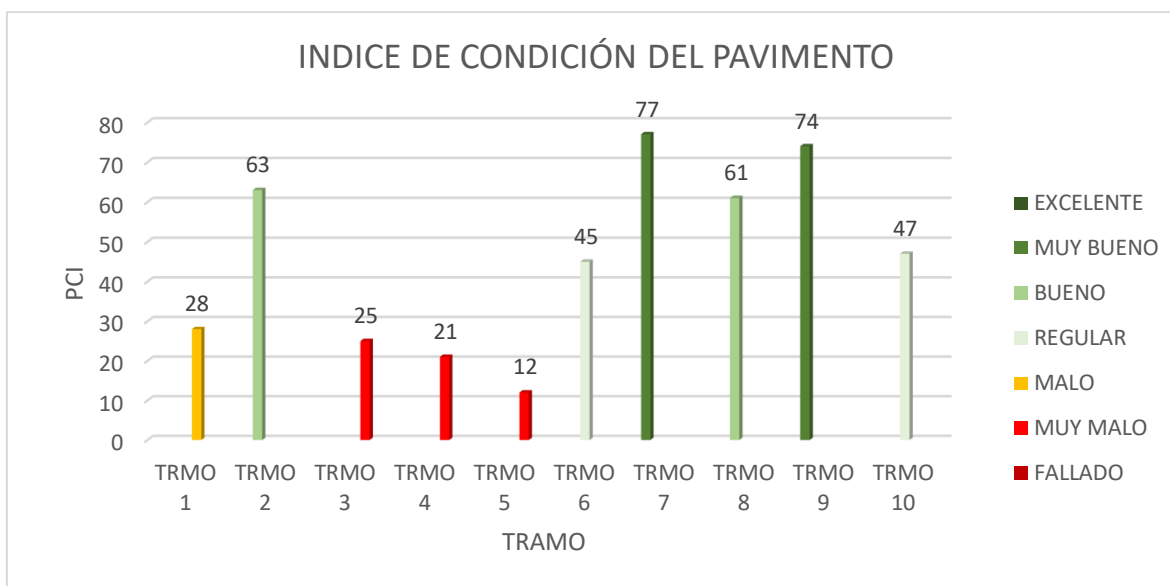


Ilustración 21. Índice de condición del pavimento para cada tramo PCI

Para finalizar, el Índice de Condición del Pavimento de todo el segmento de vía analizado es el promedio de cada uno de los tramos, de donde se obtuvo el resultado de PCI de 45,3 el cual se redondeó al número entero más cercano, obteniendo como valor final de PCI 45, el cual es un estado del pavimento REGULAR, donde se recomienda como posible intervención procesos considerables de rehabilitación. A pesar de que se obtuvo un valor de condición del pavimento para toda la vía es difícil encasillar en solo un valor el estado de todo el segmento de vía, ya que la vía contaba con tramos buenos y otros considerablemente malos que requieren de una intervención rápidamente.

Tabla 12. PCI segmento de vía

PCI	Estado del pavimento	Nivel de Servicio	Posible intervención
SEGMENTO DE VÍA (315 km)			
45	REGULAR	D	Procesos considerables de rehabilitación

3.1.1.2 Índice de deterioro superficial metodología VIZIR

La metodología de inspección visual y evaluación de pavimentos VIZIR, es una de las metodologías que ha utilizado el Instituto Nacional de Vías de Colombia para desarrollar programas de evaluación y mantenimiento de pavimentos flexibles. Es una metodología que cuanta con una principal separación de las fallas en dos categorías, A y B, donde las fallas de tipo A se asocian a deficiencias estructurales del pavimento, mientras que las fallas de tipo B se relacionan con problemas de tipo funcional, que revelan deficiencias constructivas del asfalto.

Tabla 13. Daños Tipo A Metodología VIZIR

DAÑOS TIPO A - VIZIR	
NOMBRE DEL TERIORO	CODIGO
Ahullamiento	AHU
Depresiones o hundimientos longitudinales	DL
Depresiones o hundimientos transversales	DT
Fisuras longitudinales por fatiga	FLF
Fisuras piel de cocodrilo	FPC
Bacheos y parcheo	BZR

Fuente: (INVIAS, 2013)

Tabla 14. Daños Tipo B Metodología VIZIR

DAÑOS TIPO B - VIZIR	
Fisura longitudinal de junta de construcción	FLJ
Fisura transversal de junta de construcción	FTJ
Fisura de contracción térmica	FCT
Fisuras parabólicas	FP
Fisura de borde	FB
huecos	H
Desplazamientos o abultamientos	DM
Perdida de agregados	PL
Descascaramiento	PA
Pulimiento de agregados	PU
Exudación	EX
Afloramiento de mortero	AM
Afloramiento de agua	AFA
Desintegración de bordes del pavimento	DB
Segregación	S

Fuente: (INVIAS, 2013)

La evaluación de la metodología VIZIR del índice de deterioro superficial es un valor numérico que va desde 1 hasta 7, donde 1 es una vía en buen estado, mientras que 7 es una vía con estado deficiente, además cuenta con una relación cualitativa para definir el estado dependiendo del número obtenido en el deterioro superficial del pavimento.

Tabla 15. Estado de la vía según el deterioro superficial del pavimento VIZIR

ESTADO	Índice superficial de deterioro (Is)
BUENA	1-2
REGULAR	3-4
DEFICIENTE	5-6-7

Fuente: (INVIAS, 2013)

Para poner a prueba la metodología de la VIZIR se utilizó el mismo segmento de vía usado para probar la metodología PCI, con la intención de observar las características y deferencias entre las metodologías y las diferencias entre la evaluación de las metodologías y el verdadero estado del pavimento del segmento de vía analizado.

Para la recolección de datos del levantamiento de fallas en la metodología VIZIR se usó como base el formulario propuesto por el Instituto Nacional de Vías Colombiano (INVIAS) en su documento Anexo B de la “Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras”

Tabla 16. Formato de levantamiento de fallas metodología VIZIR

	CALCULO DEL INDICE DE FISURACIÓN (If)							CALCULO DEL INDICE DE			Is (parcial)	Corrección y calculo del indice			Is (final)
	Fisuras longitudinales por fatiga			Fisuras piel de cocodrilo			If	Ahullamiento y hundimientos				Bacheos y parcheos			
TRAMO	Extensión (%)	Gravedad	If(1)	Extensión (%)	Gravedad	If(2)		Extensión (%)	Gravedad	Id		Extensión (%)	Gravedad	Corrección	
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															

Fuente: (INVIAS, 2013)

La metodología VIZIR cuenta con lo que puede ser una desventaja en la evaluación final, ya que no tienen en cuenta en el cálculo del índice de deterioro superficial las fallas de categoría B, por lo que puede generar una evaluación del pavimento algo dispersa de la realidad de la vía.

El proceso para calcular el índice de deterioro del pavimento comenzó ingresando los valores de las fallas relacionada a fisuras longitudinal por fatiga, fisuras de tipo piel de cocodrilo, Ahullamiento y bacheos. En la columna de extensión se ingresó las dimensiones de las fallas dividido por el área de muestro del tramo, el cual corresponde a un valor de 333.9 m², en la columna de gravedad se ingresa el valor que se determinó mediante las medidas y observaciones realizadas en la inspección visual. Posteriormente con los valores de la extensión y la gravedad de las fallas se puede determinar el If para fisuras longitudinales por fatiga y fisuras de tipo piel de cocodrilo, el Id para Ahullamiento y hundimientos y corrección de Is para bacheo y parcheo, usando las tablas relacionadas para cada tipo a continuación.

Tabla 17. Índice de fisuración metodología VIZIR

Índice de Fisuración (If)			
Gravedad	Extensión		
	0 a 10 %	10 a 50 %	> 50 %
1	1	2	3
2	2	3	4
3	3	4	5

Fuente: (INVIAS, 2013)

Tabla 18. Índice de deformación metodología VIZIR

Índice de Deformación (If)			
Gravedad	Extensión		
	0 a 10 %	10 a 50 %	> 50 %
1	1	2	3
2	2	3	4
3	3	4	5

Fuente: (INVIAS, 2013)

Tabla 19. Corrección por reparaciones en el pavimento metodología VIZIR

Corrección por reparaciones			
Gravedad	Extensión		
	0 a 10 %	10 a 50 %	> 50 %
1	0	0	0
2	0	0	+1
3	0	+1	+1

Fuente: (INVIAS, 2013)

Ya que se cuentan con dos índices de Fisuración, uno por fisuras longitudinales y el otro por fisuras piel de cocodrilo, siempre se debe tomar el mayor valor entre ambos y con este valor de índice de Fisuración (Is) se continúa trabajando. Acto seguido se procedió a calcular el índice de deterioro superficial corregido o final, el cual se calcula con los índices de fisuración y deformación, para el caso del segmento de vía estudiado solo se contó con índices de fisuración, ya que el pavimento de la vía no contaba con fallas como Ahullamiento o hundimiento, las cuales son bastantes particulares y solo se presentan en condiciones específicas de cargas y clima.

Tabla 20. Resultado del levantamiento y evaluación del pavimento mediante la metodología VIZIR

	CALCULO DEL INDICE DE FISURACIÓN (If)							CALCULO DEL INDICE DE DEFORMACIÓN (Id)			Is (parcial)	Corrección y calculo del indice de deterioro superficial			Is (final)	
	Fisuras longitudinales por fatiga			Fisuras piel de cocodrilo			If	Ahullamiento y hundimientos				Bacheos y parcheos				
TRAMO	Extensión (%)	Gravedad	If(1)	Extensión (%)	Gravedad	If(2)		Extensión (%)	Gravedad	Id		Extensión (%)	Gravedad	Corrección		ESTADO
1	0,00%	0	0	14,24%	3	4	4	0,00%	0	0	4	15,82%	1	0	4	REGULAR
2	0,00%	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	0	0	1	BUENA
3	0,00%	0	0	53,69%	1	3	3	0,00%	0	0	3	0,00%	0	0	3	REGULAR
4	0,00%	0	0	58,61%	2	4	4	0,00%	0	0	4	16,31%	1	0	4	REGULAR
5	0,00%	0	0	57,54%	3	5	5	0,00%	0	0	5	0,62%	1	0	5	DEFICIENTE
6	0,00%	0	0	28,30%	1	2	2	0,00%	0	0	2	0,23%	1	0	2	BUENA
7	0,00%	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	0	0	1	BUENA
8	20,00%	1	2	14,15%	1	2	2	0,00%	0	0	2	0,37%	2	0	2	BUENA
9	26,03%	1	2	0,00%	0	0	2	0,00%	0	0	2	0,00%	0	0	2	BUENA
10	0,00%	0	0	1,06%	3	3	3	0,00%	0	0	3	7,50%	1	0	3	REGULAR

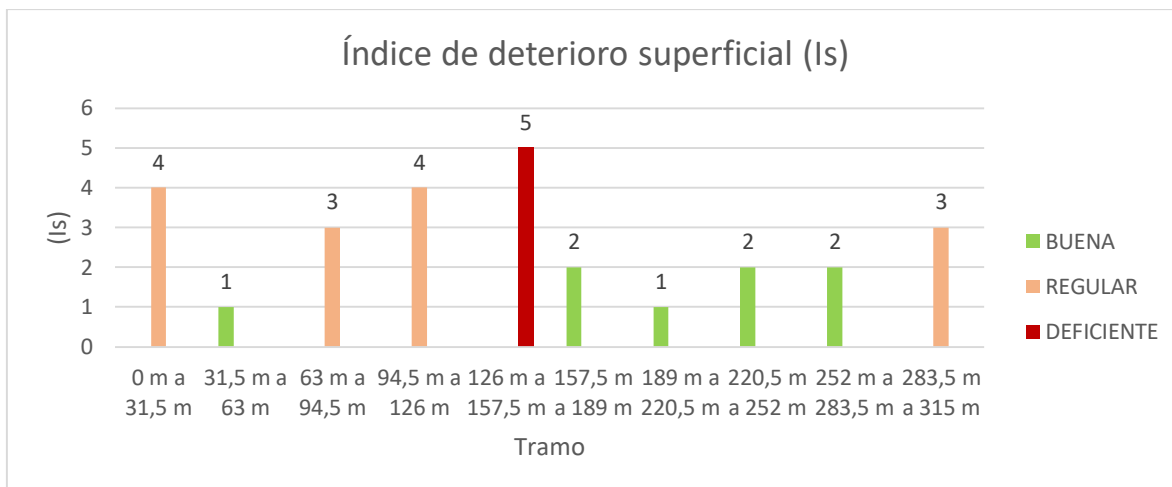


Ilustración 22. Evaluación del pavimento en cada tramo mediante la metodología VIZIR

Por último, se realizó un promedio de los valores de condición del pavimento de cada tramo para obtener la condición del pavimento de toda la vía mediante la metodología VIZIR, este valor de condición de pavimento fue de 2.7 el cual se aproximó al valor entero más cercano, obteniendo como resultado un estado de la vía REGULAR.

Tabla 21. Índice de deterioro superficial VIZIR

SEGMENTO DE VÍA (315 km)	
Valor VIZIR	Estado del pavimento
3	REGULAR

3.1.2 Selección de la metodología de evaluación de pavimentos

Para seleccionar la metodología de evaluación de pavimentos flexibles se inició tomando como base los resultados de las pruebas de las metodologías PCI y VIZIR, acompañado de un análisis detallado de la forma en que cada una de las metodologías asigna el valor del estado del pavimento de la vía analizada, con la intención de diseñar o seleccionar una metodología completa, que tenga en cuenta la mayoría de los aspectos medibles en una inspección visual de pavimentos.

Comparación de los resultados de las metodologías PCI y VIZIR en el tramo de vía seleccionado

La condición del pavimento del segmento de vía analizado estaba en general en mal estado, con algunas zonas con deterioros considerables y con un claro requerimiento de una intervención, otras zonas contaban con un estado mucho mejor, pero seguían teniendo un alto porcentaje de vía con fallas, todos estos aspectos que se notaron en el procedimiento de inspección visual del pavimento de la vía seleccionada se vio reflejado en la evaluación de la condición del pavimento tanto en la metodología PCI, como en la metodología VIZIR.

Tabla. 22 Comparativo de los resultados de la evaluación del pavimentos con las metodologías PCI y VIZIR

PCI		
TRAMO	ESTADO	Condición del pavimento
1	MALO	28
2	BUENO	63
3	MUY MALO	25
4	MUY MALO	21
5	MUY MALO	12
6	REGULAR	45
7	MUY BUENO	77
8	BUENO	61
9	MUY BUENO	69
10	REGULAR	47

VIZIR		
TRAMO	ESTADO	Condición del pavimento
1	REGULAR	4
2	BUENA	1
3	REGULAR	3
4	REGULAR	4
5	DEFICIENTE	5
6	BUENA	2
7	BUENA	1
8	BUENA	2
9	BUENA	2
10	REGULAR	3

ESTADO	Condición superficial del pavimento (PCI)
EXCELENTE	85-100
MUY BUENO	70-85
BUENO	55-70
REGULAR	40-55
MALO	25-40

ESTADO	Índice superficial de deterioro (Is)
BUENA	1-2
REGULAR	3-4
DEFICIENTE	5-6-7

MUY MALO	10-25
FALLADO	0-10

En la comparación de las evaluaciones de la condición del pavimento se logró observar una considerable similitud, observando algunos cambios en tramos en específico que se diferenciaban por la gama de variedad más amplia de rangos de calificación que maneja la metodología PCI. Esta similitud también se debe a que una de las fallas que más se encontró en el segmento de vía estudiado fue la piel de cocodrilo, la cual es considerada por la metodología VIZIR como falla estructural de tipo A, lo que hace que sea tenida en cuenta en la evaluación de la condición del pavimento, si hubiera existido una falla representativa en la vía de la categoría B para la metodología VIZIR, se hubiera notaba más cambios en las evaluaciones, ya que la metodología VIZIR no tiene en cuenta las fallas de tipo B para la evaluación, a diferencia de la metodología PCI.

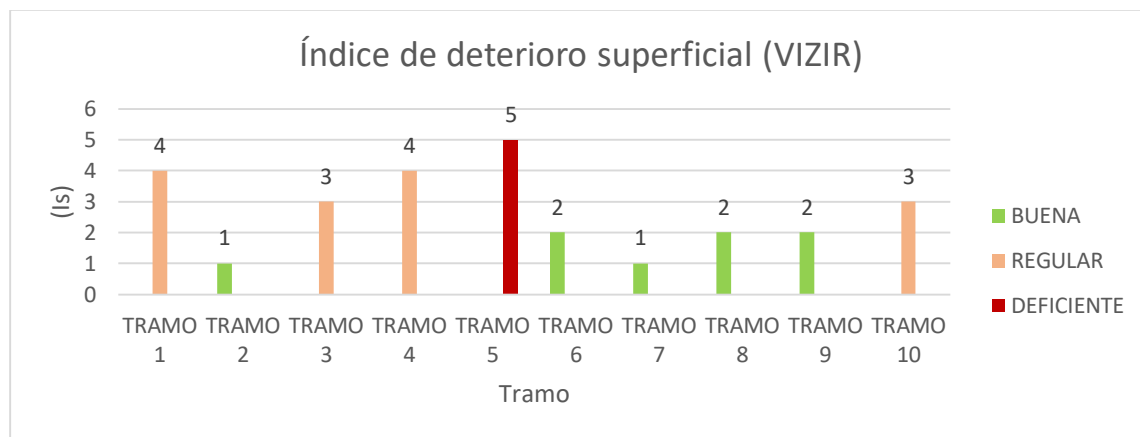


Ilustración 23. Índice de deterioro superficial VIZIR

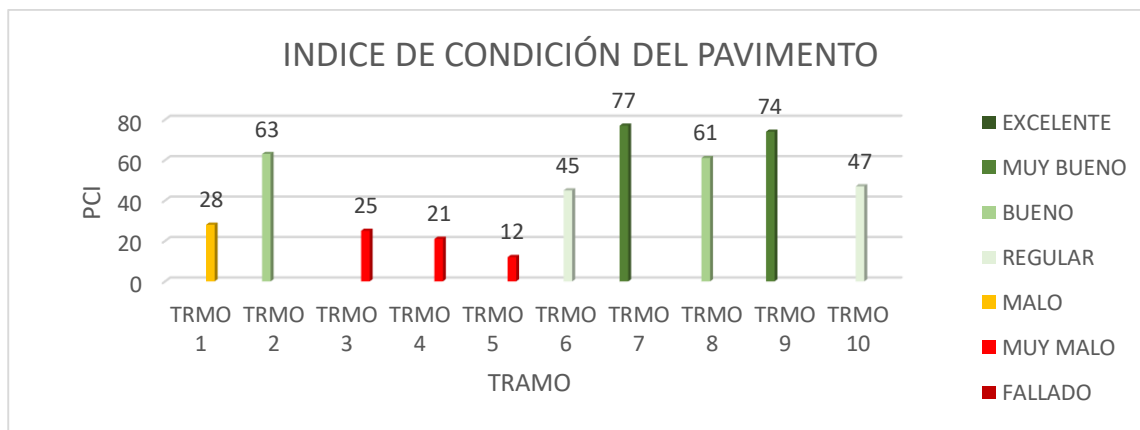


Ilustración 24. Índice de condición del pavimento PCI

A continuación, se muestra una imagen del segmento de vía seleccionado para el estudio de las metodologías en el cual se puede observar claramente la falla más recurrente en el segmento de vía estudiado, falla de tipo piel de cocodrilo, en una de las zonas con el pavimento más afectado de toda la vía.



Ilustración 25. Falla del tipo piel de cocodrilo en el segmento de vía estudiado

3.1.2.1 Comparación de las metodologías de evaluación de la condición del pavimento PCI y VIZIR

Ambas metodologías de evaluación se basan en la información obtenida en la inspección visual de pavimentos, trabajando con características de las fallas presentes en la vía, las cuales son el tipo, el área o longitud (dependiendo del tipo de falla que se esté midiendo) y la severidad, con estos datos consignados en los respectivos formatos o planillas de recolección de información se procede a realizar los debidos cálculos matemáticos basándose en el área de pavimento afectada y la severidad de esta en cada una de las fallas encontradas.

Una de las principales diferencias en la evaluación de pavimentos que presentan estas metodologías es que la metodología PCI tiene en cuenta todas las fallas para el cálculo de la condición del pavimento, mientras que la metodología VIZIR solo tiene en cuenta las fallas que considera como problemas estructurales del pavimento, denominadas Tipo A, mientras que las fallas que considera de tipo funcional, denominadas Tipo B, no las tienen en cuenta para la calificación del estado del pavimento de una vía, por lo que en una vía que dominen las fallas de Tipo B, se tendrán grandes diferencias entre los resultados de las evaluaciones de la condición del pavimento.

Tabla 23. Fallas de Tipo A y B según la metodología VIZIR

Fallas que la metodología VIZIR tiene en cuenta para la evaluación del estado del pavimento	
DAÑOS TIPO A - VIZIR	
NOMBRE DEL TERIORO	CODIGO
Ahullamiento	AHU
Depresiones o hundimientos longitudinales	DL
Depresiones o hundimientos transversales	DT
Fisuras longitudinales por fatiga	FLF
Fisuras piel de cocodrilo	FPC
Bacheos y parcheos	BZR

Fallas que la metodología VIZIR ignora para la evaluación del estado del pavimento	
DAÑOS TIPO B - VIZIR	
NOMBRE DEL TERIORO	CODIGO
Fisura longitudinal de junta de construcción	FLJ
Fisura transversal de junta de construcción	FTJ
Fisura de contracción térmica	FCT
Fisuras parabólicas	FP
Fisura de borde	FB
huecos	H
Desplazamientos o abultamientos	DM
Perdida de agregados	PL
Descascaramiento	PA
Pulimiento de agregados	PU
Exudación	EX
Afloramiento de mortero	AM
Afloramiento de agua	AFA
Desintegración de bordes del pavimento	DB
Segregación	S

Fuente: (INVIAS, 2013)

Otras de las diferencias con las que cuentan estas metodologías de evaluación de pavimentos son los números que se asignan para la calificación final, mientras que la PCI toma valores de 0 a 100, donde 100 es una vía en perfecto estado y 0 es una vía totalmente fallada, la VIZIR toma un rango numérico de 1 a 7, donde 1 es una vía en perfecto estado y 7 es una vía fallada por completo. También se diferencian en que la PCI cuenta con más intervalos de calificación que la VIZIR.

Tabla 24. Diferencia de los rangos de evaluación entre las metodologías PCI y VIZIR

EVALUACIÓN PCI	
ESTADO	Índice superficial de deterioro (Is)
EXCELENTE	85-100
MUY BUENO	70-85
BUENO	55-70
REGULAR	40-55
MALO	25-40
MUY MALO	10-25
FALLADO	0-10

Fuente: (Daniel, 2005)

EVALUACIÓN VIZIR	
ESTADO	Índice superficial de deterioro (Is)
BUENA	1-2
REGULAR	3-4
DEFICIENTE	5-6-7

Fuente: (INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2013)

Para finalizar la comparación de las metodologías en la sección de la evaluación de la condición del pavimento, cabe resaltar que los métodos matemáticos para el cálculo de la condición del pavimento son totalmente distintos, como se logró observar en el desarrollo que se hizo de cada metodología, la PCI busca usar un método iterativo basado en la tabla de corrección de los valores deducidos, mientras que la metodología VIZIR busca generar un valor de condición del pavimento más fácil con el uso de las tablas de área afectada vs severidad de la falla.

Metodología de evaluación de la condición superficial del pavimento

Inicialmente se pensaba diseñar una metodología de evaluación de la condición superficial del pavimento basado en las metodologías existentes, ya que el dispositivo de CONASFALTOS no brindaba información acerca de la profundidad de las fallas, lo cual es un factor determinante en las metodologías de evaluación de pavimentos existentes. Por esta razón no hubiera sido posible trabajar las metodologías de evaluación de pavimentos existentes acopladas al dispositivo de CONASFALTOS, pero teniendo en cuenta que este dispositivo no funciono como se esperaba, se optó por trabajar con una de las metodologías de evaluación de pavimentos existentes.

Después de analizar los resultados de las metodologías PCI y VIZIR, se contempló la posibilidad de trabajar con una metodología que combinara ambos procedimientos, pero esta opción fue descartada ya que incrementaría considerablemente el tiempo de evaluación de la condición superficial del pavimento. Por otra parte, también fue descartada la posibilidad de trabajar con la metodología VIZIR ya que como se observó en los resultados, la metodología no tiene en cuenta todas las fallas al momento de determinar la condición superficial del pavimento, lo que podría generar en algunos tramos calificaciones de la condición del pavimento que están alejadas de la condición real de la vía. Finalmente, se optó por trabajar con la metodología PCI para evaluar la condición superficial del pavimento.

3.2 INTERVENCIONES PROPUESTAS Y ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS PARA LAS FALLAS SUPERFICIALES EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

3.2.1 Intervenciones propuestas para fallas superficiales en pavimentos flexibles

Era fundamental para la metodología definir una serie de intervenciones que se acoplaran a las fallas que se presentan en los pavimentos flexibles del país, por esto se realizó una revisión detallada de las intervenciones más comúnmente usadas en el territorio. Es importante resaltar que las intervenciones o actividades de mantenimiento que se proponen en la metodología, únicamente son intervenciones relacionadas con la condición superficial del pavimento, por lo que no se tienen en cuenta actividades de mantenimiento como:

- Riego, tratamientos herbicidas, limitadores del crecimiento o poda de árboles en la vegetación del entorno de la vía
- Tareas de limpieza como retiro de basuras de las cunetas o barrido general de la calzada
- Mantenimiento o reposición de barreras de seguridad
- Recolocación y reposición de señales verticales
- Limpieza y sustitución de luminaria
- Repintado de marcas viales
- Tratamientos sobre taludes
- Obras de mantenimiento de drenaje
- Entre otras

A partir de dicha revisión, inicialmente se propusieron los siguientes grupos de intervenciones.

Tabla 25. Intervenciones posibles opción 1

INTERVENCIONES POSIBLES OPCIÓN 1	
El siguiente grupo de intervenciones es propuesto por profesionales en el año 2016, en su paper tipos de tratamientos superficiales para el mantenimiento vial de pavimentos flexibles	
1	FRESADO
	La intervención mediante fresado consiste en la remoción del pavimento asfáltico mediante una cortadora giratoria, en un movimiento continuo.
1.1	El primer paso para aplicar esta intervención en pavimentos flexibles es retirar el área defectuosa mediante la fresadora hasta la profundidad recomendada o hasta encontrar pavimento en condiciones adecuadas
1.2	Posteriormente se debe aplicar la nueva mezcla asfáltica
2	FRESADO CON RECICLADO
	La intervención mediante fresado consiste en la remoción del pavimento asfáltico mediante una cortadora giratoria, en un movimiento continuo.
2.1	El primer paso para aplicar esta intervención en pavimentos flexibles es retirar el área defectuosa mediante la fresadora hasta la profundidad recomendada o hasta encontrar pavimento en condiciones adecuadas

2.2	Posteriormente se debe aplicar la nueva mezcla asfáltica la cual es una combinación entre los materiales envejecidos o dañados con agentes rejuvenecedor y mezcla bituminosa
3	RECONSTRUCCIÓN
	Esta alternativa contempla el retiro y reemplazo total o parcial de toda la estructura de pavimentos, siendo esta la opción más costosa
4	PARCHEO
	Esta alternativa consiste en la reparación manual de pequeñas áreas afectadas del pavimento, la reparación puede hacerse con mezcla asfáltica fría o caliente
4.1	Limpieza y preparación de la zona para someter a bacheo
4.2	Riego de liga aplicado a las paredes de la zona que será sometida a bacheo
4.3	Colocación del material y compactación
5	SELLADO DE ARENA Y ASFALTO
	Esta intervención consiste en la aplicación de emulsión asfáltica de una rotura rápida seguida por la extensión y compactación de una capa delgada de arena
6	TRATAMIENTOS SUPERFICIALES
	Existen diferentes tipos de tratamientos superficiales entre los que se encuentran el sellado de fisuras, instalación de capas drenantes y aplicación de lechada asfáltica o micro aglomerado en frío
7	SOBRECAPA ASFÁLTICA
	Esta intervención ayuda a corregir deficiencias superficiales del pavimento relacionados con la comodidad de circulación y la resistencia al deslizamiento e incrementa la capacidad estructural

Fuente: (Guevara Enriquez, Valencia Escalante, & Chuico Rey, 2016)

Tabla 26. Intervenciones posibles opción 2

INTERVENCIONES POSIBLES OPCIÓN 2	
El siguiente grupo de intervenciones es propuesto por el ingeniero AUGUSTO JUGO en el año 1993 con una posterior revisión en el 2005. se buscaba brindar una herramienta practica para los ingenieros al momento de realizar el mantenimiento de pavimentos flexibles	
A	MANTENIMIENTO MENOR
	Corresponde a intervenciones de mantenimiento preventivo correctivo en fallas localizadas

1	Sellado de grietas
2	Bacheo
2.1	Bacheo de emergencia
2.2	Bacheo superficial
2.3	Bacheo de carpeta
2.4	Bacheo profundo
3	Sello asfáltico localizado
4	Nivelación localizada
5	Fresado y/o texturización localizada
B	MANTENIMIENTO MAYOR
	Corresponde a acciones de mantenimiento mayor que se aplican a toda el área o a una sección importante de la misma
1	Tratamientos superficiales
2	Capas asfálticas
2.1	Capas asfálticas de nivelación
2.2	Capas asfálticas de fricción y/o sello
2.3	Capas asfálticas estructurales
3	Remoción por fresado
4	Reciclado
4.1	Reciclado en frío
4.2	Reciclado en caliente
C	ACCIONES COMPLEMENTARIAS
	Corresponde referencia a obras complementarias a fin de corregir problemas específicos de la vía
1	Nivelación tapas de alcantarillado
2	Nivelación de sumideros
3	Suministro de rejillas y marcos

Fuente: (B., 2005)

Tabla 27. Intervenciones posible opción 3

INTERVENCIONES POSIBLES OPCIÓN 3	
Las siguientes intervenciones son propuestas por ANDRES MARIN UMAÑA en el año 2015, en el cual propone una serie de intervenciones las cuales pueden ser seleccionadas a partir de la calificación de la PCI	
1	MANTENIMIENTO DE PRESERVACIÓN
Mantenimiento de preservación: una intervención que se realiza para mantener las rutas que se encuentran en buen estado, tanto funcional como estructuralmente. Tiene un costo relativamente bajo, algunos casos consisten en sellos de preservación tipo san seal, sellado de grietas, slurry seal. Esto genera que la vida útil del pavimento se eleve, conservando su capacidad funcional y estructural, simultáneamente evita posibles deterioros como el desprendimiento de agregados o fisuramiento	

2	MANTENIMIENTO DE RECUPERACIÓN
Este tipo de mantenimiento no tiene como fin adicionar capacidad estructural al pavimento, ya que este aspecto se encuentra bien, su objetivo consiste en recuperar la capacidad funcional, ya que presenta niveles de irregularidad altos, en otras palabras, el IRI supera los 3,6 m/km. Se puede realizar sustituyendo la carpeta asfáltica o por medio de una sobrecapa, en la que se debe colocar un geotextil para evitar el reflejo de las grietas existentes en las capas inferiores. Se debe efectuar en un plazo cercano para evitar que las fallas provoquen disminución de la capacidad estructural.	
3	ANÁLISIS A NIVEL DE PROYECTO
Este tipo se aplica para las vías calificadas con el valor Q5, en las cuales se debe llevar a cabo un estudio más profundo de la situación de la estructura para tomar una solución acertada.	
4	REHABILITACIÓN MENOR
Se realiza para recuperar la capacidad estructural cuando esta es medianamente disminuida y cuando la capacidad funcional está muy afectada. Se puede ejecutar por medio de un perfilado y colocación de una nueva sobrecapa con un aporte estructural significativo, derivado del resultado de la vida estructural remanente que presente el pavimento y de igual manera del nuevo diseño estructural para un nuevo periodo de diseño.	
5	REHABILITACIÓN MAYOR
Cuando la vía presente una capacidad estructural muy baja, es necesario realizar una intervención importante, la cual debe abarcar labores hasta el nivel de la capa de base existente. Se puede llevar a cabo por medio de sustitución de la base o bien estabilizarla con un agente externo como cal o cemento, para buscar que la capacidad estructural sea la requerida. Para la superficie de ruedo, se debe colocar una carpeta nueva que cumpla con los nuevos diseños de vida útil, de servicio y diseño geométrico de la vía.	
6	RECONSTRUCCIÓN
Se debe ejecutar cuando la vía tenga nula capacidad estructural y funcional, por lo que se requiere construir el pavimento por completo. De este modo, es necesario empezar por la demolición total, rediseño de espesores y materiales a utilizarse según las cargas que deberá de resistir cuando entre en función, garantizando el nivel máximo de seguridad vial, capacidad funcional y estructural. Por los trabajos que se deben llevar a cabo, constituye la intervención de mayor costo dentro del sistema de administración de pavimentos	

Fuente: (Umaña, 2015)

A partir de estas intervenciones iniciales se realizó un compilado de las intervenciones definitivas, que serán tenidas en cuenta para asociar posteriormente a las fallas presentes en la superficie de los pavimentos flexibles, dichas intervenciones abarcan el mantenimiento de todas las fallas propuestas por el manual de inspección visual de pavimentos PCI.

Tabla 28. Fallas en pavimentos flexibles PCI

Fallas en pavimentos flexibles propuestas por la PCI				
No	Daño		No	Daño
1	Piel de cocodrilo		11	Parcheo
2	Exudación		12	Pulimiento de agregados
3	Agrietamiento en bloque		13	Hueco
4	Abultamientos y hundimientos		14	Cruce de vía férrea
5	Corrugación		15	Ahullamiento
6	Depresión		16	Desplazamiento
7	Grieta de borde		17	Grieta parabólica (slippage)
8	Grieta de reflexión o junta		18	Hinchamiento
9	Desnivel/carril berma		19	Desprendimiento de agregados
10	Grietas longitudinal y transversal			

Fuente: (Varela, 2002)

Tabla 29. Intervenciones definitivas

Intervenciones definitivas		
No	Intervención	Unidad
0.0	No intervenir	-
1.0	Sello de grietas en pavimento asfáltico con ruteo	m
2.1	Tratamiento superficial doble con emulsión CRR-2 Tipo 1	m2
2.2	Sello superficial arena-emulsión CRR-2M	m2
3.0	Parcheo en pavimento flexible con MDC – 19. e= 10 cm	m2
4.0	Fresado de 10 cm + Mezcla densa en caliente tipo MDC- 19 o Sobrecarpeta	m2
5.0	Reconstrucción	m2
6.1	Nivelación de la berma severidad baja	m
6.2	Nivelación de la berma severidad media	m
6.3	Nivelación de la berma severidad alta	m

3.2.2 Análisis de precios unitarios de las intervenciones propuestas

Luego de tener claridad sobre las intervenciones con las cuales se iba a proponer el mantenimiento de las vías en la metodología, se procedió a calcular el precio de cada una de las intervenciones mediante el desarrollo del análisis de precios unitarios. Para realizar este proceso se usaron fuentes de referencia como:

- Información técnica de contratos ejecutados o licitaciones abiertas en plataformas como SECOP II o Colombia Licita.
- Bases de datos sobre APU, equipos e insumos como las presentadas por el INVIAS, gobernación de Risaralda y DataCauca.

- Libros como Ingeniería de Pavimentos e Ingeniería de Carreteras volumen II.

Tabla 30. Intervenciones definitivas con precio unitario

No	Intervención	Unidad	Costo directo (\$)
0.0	No intervenir	-	\$ -
1.0	Sello de grietas en pavimento asfáltico con ruteo	m	\$ 7.422
2.1	Tratamiento superficial doble con emulsión CRR-2 Tipo 1	m2	\$ 10.589
2.2	Sello superficial arena-emulsión CRR-2M	m2	\$ 4.832
3.0	Parcheo en pavimento flexible e=0,1m	m2	\$ 82.473
4.0	Fresado de 10 cm + Mezcla densa en caliente tipo MDC- 19 o Sobrecarpeta	m2	\$ 117.240
5.0	Reconstrucción	m2	\$ 164.579
6.1	Nivelación de la berma severidad baja	m	\$ 59.919
6.2	Nivelación de la berma severidad media	m	\$ 98.432
6.3	Nivelación de la berma severidad alta	m	\$ 175.457

Es importante aclarar que los valores y rendimientos presentados en los análisis de precios unitarios corresponden al departamento de Antioquia, las bases de datos y contratos de otros municipios solo fueron tenidos en cuenta para conformar la estructura del APU, también se hace la salvedad que únicamente se considera transporte de material en los análisis de precios unitarios que así lo indican. Finalmente cabe recalcar que los precios presentados para las intervenciones, son únicamente de referencia, ya que pueden variar significativamente con factores como la disponibilidad de equipo, materiales y mano de obra, la distancia de la obra a las bodegas que suministran el material y a los botaderos autorizados, la distribución de las fallas a lo largo de la vía, entre otros.

3.3 SELECCIÓN DE INTERVENCIÓN

3.3.1 Asignación de intervenciones iniciales a cada nivel de severidad de cada falla

En la primera parte de selección de la intervención se le asignaron a cada nivel de severidad de cada falla de una a tres posibles intervenciones, que buscan cumplir la función de mantenimiento de la vía retardando lo más posible su deterioro.

Tabla 31. Intervenciones recomendadas inicialmente

No	Falla	Severidad	Unidad de medida	Intervención recomendada inicialmente 1	Intervención recomendada inicialmente 2	Intervención recomendada inicialmente 3
1	Piel de cocodrilo	Baja	m2	No intervenir	Sello superficial	Sobrecarpeta
		Media	m2	Parcheo	Sobrecarpeta	Reconstrucción
		Alta	m2	Parcheo	Sobrecarpeta	Reconstrucción
2	Exudación	Baja	m2	No intervenir	-	-
		Media	m2	Tratamiento superficial	-	-
		Alta	m2	Tratamiento superficial	-	-
3	Agrietamiento en bloque	Baja	m2	Sellado de grietas	-	-
		Media	m2	Sellado de grietas	Sobrecarpeta	-
		Alta	m2	Sellado de grietas	Sobrecarpeta	-
4	Abultamiento y hundimientos	Baja	ml	No intervenir	-	-
		Media	ml	Parcheo	-	-
		Alta	ml	Parcheo	Sobrecarpeta	-
5	Corrugación	Baja	m2	No intervenir	-	-
		Media	m2	Reconstrucción	-	-
		Alta	m2	Reconstrucción	-	-
6	Depresión	Baja	m2	No intervenir	-	-
		Media	m2	Parcheo	-	-
		Alta	m2	Parcheo	-	-
7	Grieta de borde	Baja	ml	No intervenir	Sellado de grietas	-
		Media	ml	Sellado de grietas	Parcheo	-
		Alta	ml	Parcheo	-	-
8	Grieta de reflexión o junta	Baja	ml	Sellado de grietas	-	-
		Media	ml	Sellado de grietas	Parcheo	-
		Alta	ml	Parcheo	Reconstrucción (zona de la junta)	-

No	Falla	Severidad	Unidad de medida	Intervención recomendada inicialmente 1	Intervención recomendada inicialmente 2	Intervención recomendada inicialmente 3
9	Desnivel / carril-berma	Baja	ml	Nivelación de las bermas, para ajustar el carril	-	-
		Media	ml	Nivelación de las bermas, para ajustar el carril	-	-
		Alta	ml	Nivelación de las bermas, para ajustar el carril	-	-
10	Grietas longitudinales y transversales	Baja	ml	No intervenir	Sellado de grietas	-
		Media	ml	Sellado de grietas	-	-
		Alta	ml	Sellado de grietas	Parcheo	-
11	Parcheo	Baja	m2	No intervenir	-	-
		Media	m2	No intervenir	Parcheo (sustitución del parche)	-
		Alta	m2	Parcheo (sustitución del parche)	-	-
12	Pulimiento de agregados	N/A	m2	No intervenir	Tratamiento superficial	Sobrecarpeta
			m2			
			m2			
13	Hueco	Baja	m2	No intervenir	Parcheo	-
		Media	m2	Parcheo	-	-
		Alta	m2	Parcheo	-	-
14	Cruce de vía férrea	Baja	m2	No intervenir	-	-
		Media	m2	Parcheo	-	-
		Alta	m2	Parcheo	-	-
15	Ahullamiento	Baja	m2	No intervenir	Sobrecarpeta	-
		Media	m2	Parcheo	Sobrecarpeta	-
		Alta	m2	Parcheo	Sobrecarpeta	-
16	Desplazamiento	Baja	m2	No intervenir	Sobrecarpeta	-
		Media	m2	Parcheo	Sobrecarpeta	-
		Alta	m2	Parcheo	Sobrecarpeta	-
17	Grieta parabólica	Baja	m2	No intervenir	Parcheo	-
		Media	m2	Parcheo	-	-
		Alta	m2	Parcheo	-	-
18	Hinchamiento	Baja	m2	No intervenir	-	-
		Media	m2	No intervenir	Reconstrucción	-
		Alta	m2	Reconstrucción	-	-

No	Falla	Severidad	Unidad de medida	Intervención recomendada inicialmente 1	Intervención recomendada inicialmente 2	Intervención recomendada inicialmente 3
19	Desprendimiento de agregados	Baja	m2	No intervenir	Sello superficial	Tratamiento superficial
		Media	m2	Sello superficial	Tratamiento superficial	Sobrecarpeta
		Alta	m2	Tratamiento superficial	Sobrecarpeta	Reconstrucción

3.3.2 Intervención propuesta desde el punto de vista económico

En aras de gastar la menor cantidad de dinero posible en los procesos de mantenimiento de la vía, se propuso una serie de rangos de cantidades mínimas para recomendar una intervención de las inicialmente planteadas, teniendo en cuenta que a mayor cantidad de la actividad de intervención menor será el costo unitario de esta. A continuación, se mencionan los criterios utilizados para los rangos de cantidades establecidos:

- Si existen dos o más intervenciones recomendadas para un nivel de severidad de una falla, se realizará la primera sin ninguna restricción, mientras que las demás solo serán recomendadas si se tiene al menos la cantidad de esa intervención que se realiza en un día de 8 horas laborales.
- Teniendo en cuenta que la actividad de mantenimiento reconstrucción es la más costosa, se propone un límite inferior de 2.000 m² para ser recomendada.
- En los casos donde en un mismo nivel de severidad de una falla se encuentren intervenciones como tratamiento o sello superficial y sobrecarpeta, solo será recomendada la sobrecarpeta cuando se tenga un mínimo de 1600 m², esto teniendo en cuenta la alta diferencia de precios unitarios de las intervenciones mencionadas.

Tabla 32. Rangos de cantidades para las intervenciones

Falla	Severidad		Intervención económica 1		Intervención económica 2		Intervención económica 3
Piel de cocodrilo	Baja	<400	No intervenir	400-1600	Sello superficial	>1600	Sobrecarpeta
	Media	<80	Parcheo	80-2000	Sobrecarpeta	>2000	Reconstrucción
	Alta	<80	Parcheo	80-2000	Sobrecarpeta	>2000	Reconstrucción
Exudación	Baja		No intervenir		-		-
	Media		Tratamiento superficial		-		-
	Alta		Tratamiento superficial		-		-

Falla	Severidad		Intervención económica 1		Intervención económica 2		Intervención económica 3
Agrietamiento en bloque	Baja		Sellado de grietas		-		-
	Media	<80	Sellado de grietas	>=80	Sobrecarpeta		-
	Alta	<80	Sellado de grietas	>=80	Sobrecarpeta		-
Abultamiento y hundimientos	Baja		No intervenir		-		-
	Media		Parcheo		-		-
	Alta	<80	Parcheo	>=80	Sobrecarpeta		-
Corrugación	Baja		No intervenir		-		-
	Media		Reconstrucción		-		-
	Alta		Reconstrucción		-		-
Depresión	Baja		No intervenir		-		-
	Media		Parcheo		-		-
	Alta		Parcheo		-		-
Grieta de borde	Baja	<240	No intervenir	>=240	Sello de grietas		-
	Media	<50	Sellado de grietas	>=50	Parcheo		-
	Alta		Parcheo		-		-
Grieta de reflexión o junta	Baja		Sellado de grietas		-		-
	Media	<50	Sellado de grietas	>=50	Parcheo		-
	Alta	<2000	Parcheo	>=2000	Reconstrucción (zona de la junta)		-
Desnivel / carril-berma	Baja		Nivelación de la berma severidad baja		-		-
	Media		Nivelación de la berma severidad media		-		-
	Alta		Nivelación de la berma severidad alta		-		-
Grietas longitudinales y transversales	Baja	<240	No intervenir	>=240	Sello de grietas		-
	Media		Sellado de grietas				-
	Alta	<50	Sellado de grietas	>=50	Parcheo		-

Falla	Severidad		Intervención económica 1		Intervención económica 2		Intervención económica 3
Parcheo	Baja		No intervenir				-
	Media	<50	No intervenir	>=50	Parcheo		-
	Alta	<50	No intervenir	>=50	Parcheo		-
Pulimiento de agregados	N/A	<400	No intervenir	400-1600	Tratamiento superficial	>1600	Sobrecarpeta
Hueco	Baja	<50	No intervenir	>=50	Parcheo		-
	Media		Parcheo		-		-
	Alta		Parcheo		-		-
Cruce de vía férrea	Baja		No intervenir		-		-
	Media		Parcheo		-		-
	Alta		Parcheo		-		-
Ahullamiento	Baja	<80	No intervenir	>=80	Sobrecarpeta		-
	Media	<80	Parcheo	>=80	Sobrecarpeta		-
	Alta	<80	Parcheo	>=80	Sobrecarpeta		-
Desplazamiento	Baja	<80	No intervenir	>=80	Sobrecarpeta		-
	Media	<80	Parcheo	>=80	Sobrecarpeta		-
	Alta	<80	Parcheo	>=80	Sobrecarpeta		-
Grieta parabólica	Baja	<80	No intervenir	>=80	Parcheo		-
	Media		Parcheo		-		-
	Alta		Parcheo		-		-
Hinchamiento	Baja		No intervenir		-		-
	Media	<2000	No intervenir	>=2000	Reconstrucción		-
	Alta	<2000	No intervenir	>=2000	Reconstrucción		-
Desprendimiento de agregados	Baja	<400	No intervenir	400-600	Sello superficial	>=600	Tratamiento superficial
	Media	<600	Sello superficial	600-1600	Tratamiento superficial	>1600	Sobrecarpeta
	Alta	<1600	Tratamiento superficial	1600-2000	Sobrecarpeta	>2000	Reconstrucción

3.3.3 Intervención propuesta desde el punto de vista de conservación de la vía

Esta recomendación de intervención no tiene en cuenta el factor económico desde un principio, por lo que siempre recomendará de ser posible una intervención diferente a No Intervenir, incluso si la cantidad de vía que se encuentra afectada es muy pequeña.

Los factores que se usaron para definir la intervención propuesta desde el punto de vista de conservación de la vía son los siguientes:

- Si la intervención recomendada desde el punto de vista económico es diferente de No Intervenir, la intervención propuesta desde el punto de vista de conservación de la vía será iguala a la intervención económica.
- Para los casos en lo que la intervención económica es No Intervenir, la intervención propuesta desde el punto de vista de conservación de la vía será alguna de las otras intervenciones recomendadas inicialmente, priorizando la más económica.

3.3.4 Intervención recomendada definitiva

Para determinar el límite inferior de la evaluación de condición del pavimento mediante la metodología PCI igual a 55, se analizó la curva típica de deterioro-tiempo de los pavimentos flexibles, en la cual se establecen tres puntos de especial importancia.

- Punto A: El pavimento muestra deterioros mínimos que requieren de labores de mantenimiento menor como el sellado de grietas, bacheo, entre otros.
- Punto B: La rata de deterioro comienza a crecer rápidamente, es posible que se requieran acciones de mantenimiento mayor como nivelaciones, reconstrucciones o fresados. Este punto es denominado como la zona optima de rehabilitación, ya que inversiones relativamente pequeñas producen grandes beneficios.
- Punto C: La condición del pavimento se encuentra en un estado crítico, tanto funcional como estructural, en este punto es muy posible que las acciones de mantenimiento que se requieran sean reconstrucciones.

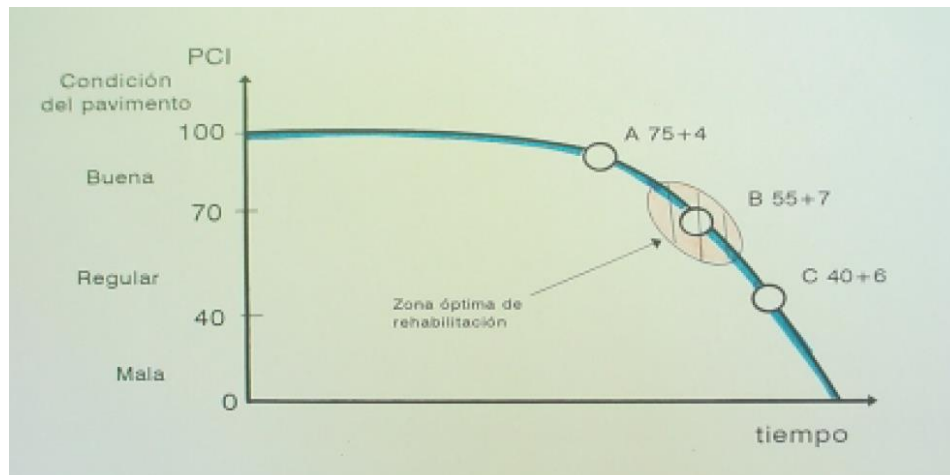


Ilustración 26. Zona optima de rehabilitación

Tabla 33. Rangos de deterioros con base a la PCI

Punto	PCI	Características
A	70 ± 4	El pavimento empieza a necesitar mantenimiento menor
B	55 ± 7	Se inicia incremento de rata de deterioro. (Zona optima de rehabilitación)
C	40 ± 6	Inicio de zona de falla, se requieren acciones de mantenimiento mayor

Fuente: (B., 2005)

Siempre se recomendará la intervención desde el punto de vista económico a excepción de los casos donde se cumplan las siguientes dos condiciones:

- La intervención recomendada desde el punto de vista económico es No Intervenir
- La condición superficial del pavimento evaluada con la metodología PCI es menor a 55

Cuando se cumplan estas dos condiciones se recomendará la intervención desde el punto de vista de conservación de la vía, ya que son tramos vía que cuenta con una condición bastante deficiente, en estos casos ahorrar costos evitando hacer una intervención puede ser contraproducente.

En el siguiente cuadro conceptual se establece todo el proceso de la metodología de inspección, evaluación y propuestas de intervención de pavimentos, desde cómo se desarrolló hasta como utilizarla.

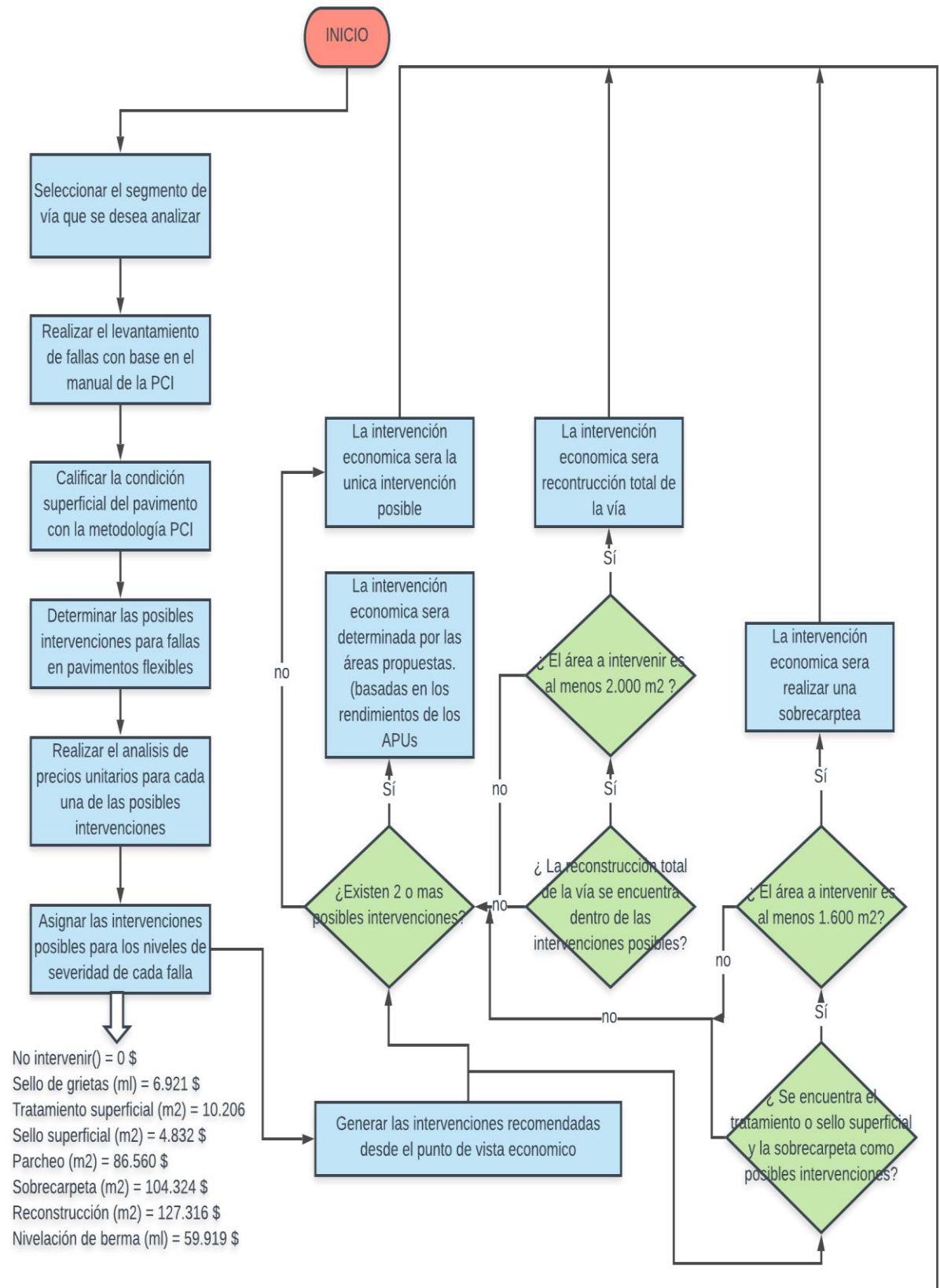


Ilustración 27. Diagrama de flujo de la metodología propuesta

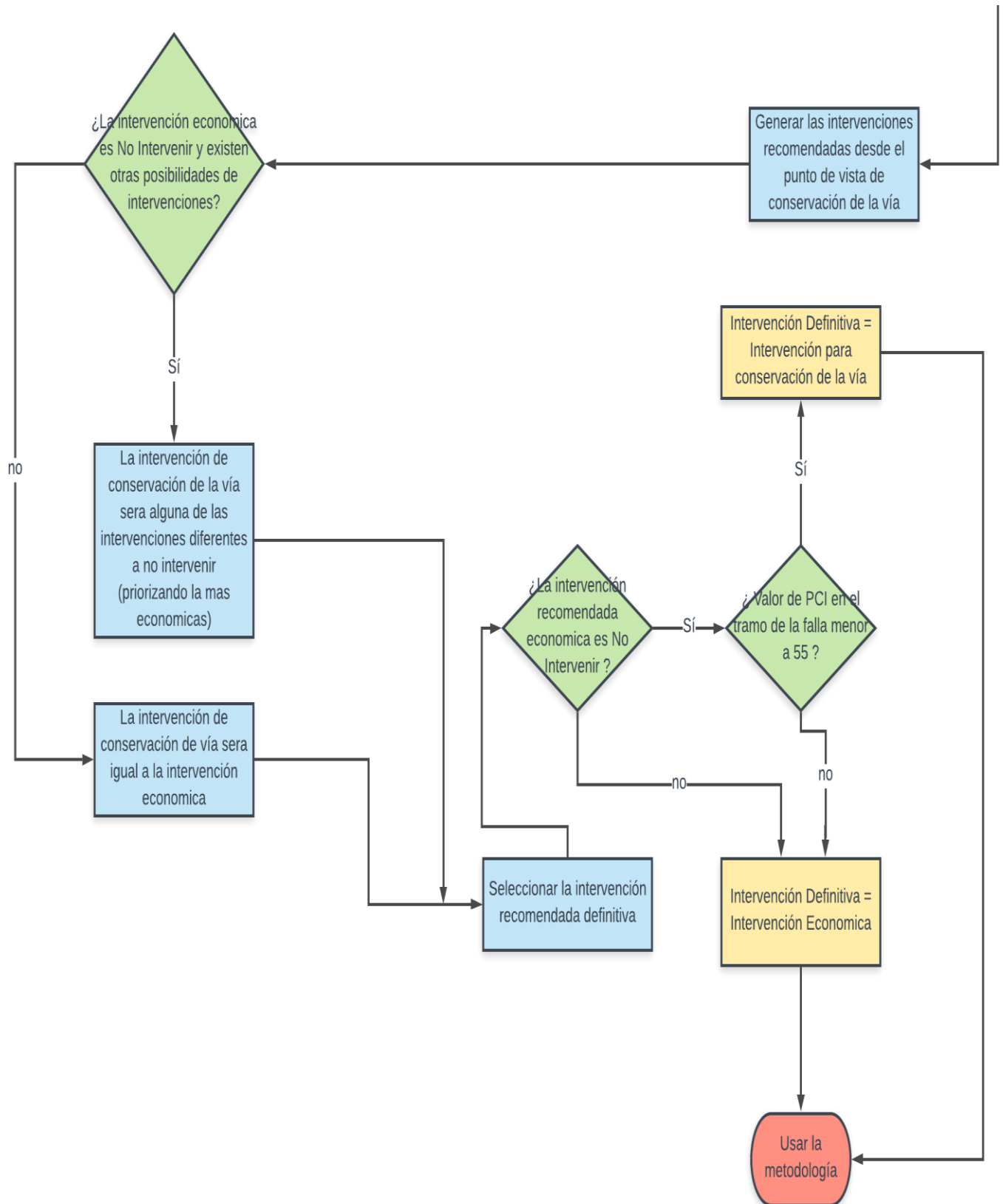


Ilustración 28. Diagrama de flujo de la metodología propuesta

3.3.5 Prueba de la metodología

Finalmente se probó la metodología en el segmento de vía analizado desde un principio, el cual está compuesto por diez tramos de vía de 32.5 metros, formando en total un segmento de vía de 325 metros. Se debe recordar que la información necesaria para usar la metodología son el levantamiento de las fallas y la evaluación de la condición superficial del pavimento con la metodología PCI.

Tabla 34. Resultados de la metodología en el segmento de vía analizado

TRAMO 01 PCI = 28							
Daño	Severidad	Unidad	Cantidad	Intervención económica	Intervención conservación de la vía	Intervención definitiva	Costo directo (\$)
Piel de cocodrilo	Alta	m2	47,55	Parcheo	Parcheo	Parcheo	\$ 3.921.574
Hueco	Baja	m2	0,1	No intervenir	Parcheo	Parcheo	\$ 8.247
Parcheo	Media	m2	6,36	No intervenir	Parcheo	Parcheo	\$ 524.526
Parcheo	Baja	m2	46,51	No intervenir	No intervenir	No intervenir	\$ -
Agrietamiento en bloque	Media	m2	95	Sobrecarpeta	Sellado de grietas	Sobrecarpeta	\$ 11.137.753
TOTAL							\$ 15.592.101
TRAMO 02 PCI = 63							
Falla	Severidad	unidad	Cantidad	Intervención económica	Intervención conservación de la vía	Intervención definitiva	Costo directo (\$)
Agrietamiento en bloque	Media	m2	110,25	Sobrecarpeta	Sobrecarpeta	Sobrecarpeta	\$ 12.925.656
Agrietamiento en bloque	Baja	m2	151,2	Sellado de grietas m2	Sellado de grietas m2	Sellado de grietas m2	\$ 6.733.238
							\$ 19.658.894
TRAMO 03 PCI = 25							
Falla	Severidad	unidad	Cantidad	Intervención económica	Intervención conservación de la vía	Intervención definitiva	Costo directo (\$)
Hueco	Baja	m2	0,034	No intervenir	Parcheo	Parcheo	\$ 2.804
Piel de cocodrilo	Media	m2	75,6	Parcheo	Sobrecarpeta	Parcheo	\$ 6.234.932
Piel de cocodrilo	Baja	m2	103,68	No intervenir	Sello superficial	Sello superficial	\$ 500.982
							\$ 6.738.718

TRAMO 07 PCI = 77							
Falla	Severidad	unidad	Cantidad	Intervención económica	Intervención conservación de la vía	Intervención definitiva	Costo directo (\$)
Hueco	Baja	m2	0,086	No intervenir	Parcheo	No intervenir	\$ -
Agrietamiento en bloque	Baja	m2	47,25	Sellado de grietas	Sellado de grietas	Sellado de grietas	\$ 2.104.137
Agrietamiento en bloque	Media	m2	40,95	Sellado de grietas	Sellado de grietas	Sellado de grietas	\$ 1.823.585
							\$ 3.927.722
TRAMO 08 PCI = 61							
Falla	Severidad	unidad	Cantidad	Intervención económica	Intervención conservación de la vía	Intervención definitiva	Costo directo (\$)
Parcheo	Media	m2	1,26	No intervenir	Parcheo	No intervenir	\$ -
Grieta long y transversal	Baja	m	6,3	No intervenir	Sellado de fisuras	No intervenir	\$ -
Piel de cocodrilo	Baja	m2	47,25	No intervenir	Sello superficial	No intervenir	\$ -
							\$ -
TRAMO 09 PCI = 74							
Falla	Severidad	unidad	Cantidad	Intervención económica	Intervención conservación de la vía	Intervención definitiva	Costo directo (\$)
Grieta long. y transversal	Baja	m	8,2	No intervenir	Sellado de grietas	No intervenir	\$ -
Agrietamiento en bloque	Media	m2	40,95	Sellado de grietas	Sellado de grietas	Sellado de grietas	\$ 1.823.585
							\$ 1.823.585
TRAMO 10 PCI = 47							
Falla	Severidad	unidad	Cantidad	Intervención económica	Intervención conservación de la vía	Intervención definitiva	Costo directo (\$)
Agrietamiento en bloque	Media	m2	163,49	Sobrecarpeta	Sobrecarpeta	Sobrecarpeta	\$ 19.167.487
Parcheo	Media	m2	5,04	No intervenir	Parcheo	Parcheo	\$ 415.662
Piel de cocodrilo	Alta	m2	3,57	Parcheo	Parcheo	Parcheo	\$ 294.427
Parcheo	Baja	m2	20,02	No intervenir	No intervenir	No intervenir	\$ -
Hueco	Baja	m2	0,0608	No intervenir	Parcheo	Parcheo	\$ 5.014
						Total (\$)	\$ 19.882.591

					TOTAL	\$ 124.444.872

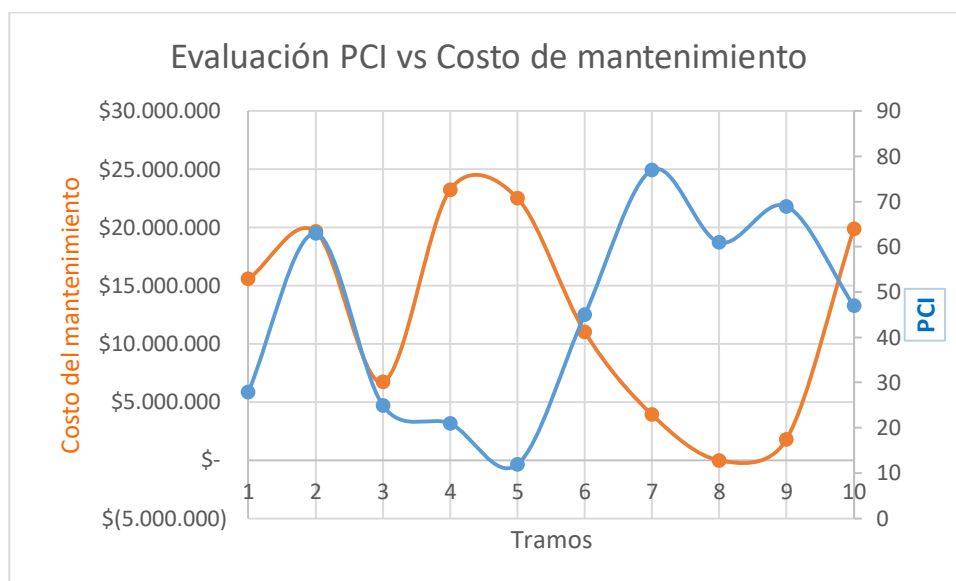


Ilustración 29. Evaluación PCI vs Costo de mantenimiento

En la gráfica de la Evaluación superficial del pavimento PCI vs el costo de mantenimiento se presentó una tendencia inversa, donde los picos más marcados de ambas graficas son opuestos, lo cual era de esperarse ya que, a mayor valor de la PCI, mejor es estado de la vía y por consiguiente se requiere de una inversión mucho menor para el mantenimiento del pavimento.

3.4 VALIDACIÓN DE METODOLOGÍA CON EXPERTOS

Por recomendación de los expertos se optó por realizar la validación de los resultados de la metodología mediante una mesa de trabajo, por esta razón días antes a la reunión se envió a cada experto la metodología con sus resultados, para que tuvieran la posibilidad de leer y analizar la metodología con antelación. La mesa de trabajo se realizó con los expertos Lina Ramírez y Zamir Sánchez, ambos profesionales que hasta el momento de la reunión trabajaban para la empresa Conasfaltos, donde se concluyó que la metodología aportada era pertinente y una posible base para desarrollar una herramienta de apoyo en la gestión de mantenimiento de pavimentos. A pesar de esto, los expertos recalcaron algunas limitaciones con las que contaba la metodología, como las siguientes:

- La relación de costos que realiza la metodología no es más que unos valores de referencia, que buscan aproximarse a los costos directos reales de un proyecto de

mantenimiento de pavimentos, pero estos, posiblemente se verán afectados por una gran cantidad de variables propias de cada proyecto.

- Las intervenciones o actividades de mantenimiento propuestas por la metodología son únicamente correcciones directas sobre el pavimento, por esto no se tienen en cuenta otras actividades como obras de mantenimiento a sistemas de drenaje, tareas de limpieza rutinaria, marcaciones viales, luminarias, entre otros.
- La metodología podría contar con una hoja de cálculo de Excel que permita a los usuarios ingresar los datos requeridos y calcular de manera más rápida la metodología, incluso sin conocer a fondo su proceso o criterios de selección.

3.5 PROGRAMA COMPLEMENTARIO

Luego de desarrollar la metodología para determinar las posibles intervenciones en pavimentos flexibles y recibir la evaluación de la metodología por parte de los expertos, se optó por implementar una macro en el programa Excel que calculara el índice de condición superficial del pavimento (PCI) y determinara las posibles intervenciones con la metodología propuesta, esto con la intención de disminuir el tiempo en la aplicación de la metodología y que pueda ser una herramienta de apoyo utilizada por profesionales en el sector del mantenimiento de pavimentos o por otros estudiantes que se encuentren trabajando en temas relacionados.

Para desarrollar la macro en el programa Excel fue necesario encontrar las ecuaciones de la graficas de valores de deducidos para cada nivel de severidad de cada falla, mediante el uso de graficas de tendencias. Este proceso se realizó para cada una de las 57 graficas de valores deducidos de la PCI. También fue necesario almacenar todas las tablas de la metodología en el programa de Excel para que mediante funciones de Visual Basic en el desarrollador del programa fueran usadas al momento de calcular las intervenciones recomendadas.

El primer paso para utilizar la macro es ingresar las medidas del tramo que se desea evaluar en la parte superior de la hoja de cálculo, tanto ancho como largo, deben ser ingresados en metros lineales.

Información Inicial de la Vía									
2	Ancho de la vía (m)								
3	Largo de cada tramo (m)								
4		No	No Falla	Unidad	Falla		Severidad	Cantidad total (m o m2)	
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									


Ilustración 30. Información inicial de la vía, macro

Posteriormente se debe hacer clic sobre el botón que se nombra “Agregar Información de Fallas” donde se desplegará un formulario en el que se deberán ingresar la información del levantamiento de fallas como tipo, severidad y cantidad de cada una de las afectaciones encontradas, del tramo que se desea evaluar.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
1	Información Inicial de la Vía																								
2	Ancho de la vía (m)																								
3	Largo de cada tramo (m)																								
4			No	No Falla	Unidad	Falla		Severidad	Cantidad total (m o m2)	Densidad (%)	Valor Deducido	PCI	Intervención definitiva												
5																									
6																									
7																									
8																									
9																									
10																									
11																									
12																									
13																									
14																									
15																									
16																									
17																									
18																									
19																									

Ilustración 31. Información específica de la vía, macro





Falla

Severidad

Cantidad total (m o m2)

Ilustración 32. formulario de la macro

Luego de que los usuarios ingresen todos los valores de las fallas, la macro arrojará datos como la evaluación de la condición superficial del pavimento bajo la metodología PCI, la intervención propuesta para cada una de las fallas, el costo parcial de cada una de las intervenciones, el costo total del mantenimiento del tramo estudiado, entre otros, información que es bastante importante en la gestión de mantenimiento de pavimentos.

Finalmente se probó la metodología de la macro de Excel con los datos del levantamiento de falla que se había realizado desde un principio para examinar las características de las metodologías de evaluación de pavimento PCI y VIZIR.

Tabla 35. Resultados de la metodología usando la macro

TRAMO 01							
Daño	Severidad	Cantidad total (m o m2)	CDV	PCI	Intervención definitiva	Costo Intervención	Costo total del mantenimiento
Piel de cocodrilo	alta	47,55	65,9826534	25,3167967	Parcheo	\$ 3.921.574	\$ 15.592.101
Agrietamiento en bloque	media	95	71,0187026		Sobrecarpeta	\$ 11.137.753	
Parcheo	baja	46,51	70,6099995		No intervenir	\$ -	
Parcheo	media	6,36	69,449016		Parcheo	\$ 524.526	
Hueco	baja	0,1	74,6832033		Parcheo	\$ 8.247	
TRAMO 02							
Daño	Severidad	Cantidad total (m o m2)	CDV	PCI	Intervención definitiva	Costo Intervención	Costo total del mantenimiento
Agrietamiento en bloque	media	110,25	35,4452972	64,5547028	Sobrecarpeta	\$ 12.925.656	\$ 19.658.894
Agrietamiento en bloque	baja	151,2	29,7920178		Sellado de grietas m2	\$ 6.733.238	
TRAMO 03							
Daño	Severidad	Cantidad total (m o m2)	CDV	PCI	Intervención definitiva	Costo Intervención	Costo total del mantenimiento
Piel de cocodrilo	media	75,6	64,7991539	25,9843729	Parcheo	\$ 6.234.932	\$ 6.738.718
Piel de cocodrilo	baja	103,68	74,0156271		Sello superficial	\$ 500.982	
Hueco	baja	0,034	61,7394653		Parcheo	\$ 2.804	

TRAMO 04							
Daño	Severidad	Cantidad total (m o m2)	CDV	PCI	Intervención definitiva	Costo Intervención	Costo total del mantenimiento
Piel de cocodrilo	media	195,71	58,5140917	23,2817152	Sobrecarpeta	\$ 22.944.944	\$ 23.248.971
Parcheo	baja	50,86	65,0796497		No intervenir	\$ -	
Parcheo	media	3,6	67,7414566		Parcheo	\$ 296.902	
Hueco	baja	0,0864	76,7182848		Parcheo	\$ 7.126	
TRAMO 05							
Daño	Severidad	Cantidad total (m o m2)	CDV	PCI	Intervención definitiva	Costo Intervención	Costo total del mantenimiento
Piel de cocodrilo	alta	97,65	75,3147335	9,46678906	Sobrecarpeta	\$ 11.448.438	\$ 22.527.571
Piel de cocodrilo	media	94,5	82,257808		Sobrecarpeta	\$ 11.079.133	
Parcheo	baja	2,1	90,5332109		No intervenir	\$ -	
			81,4631389				
TRAMO 06							
Daño	Severidad	Cantidad total (m o m2)	CDV	PCI	Intervención definitiva	Costo Intervención	Costo total del mantenimiento
Piel de cocodrilo	baja	94,5	47,1409486	46,408715	Sello superficial	\$ 456.624	\$ 11.044.718
Agrietamiento en bloque	media	89,77	53,591285		Sobrecarpeta	\$ 10.524.591	
Parcheo	media	0,77	49,7983953		Parcheo	\$ 63.504	
TRAMO 07							
Daño	Severidad	Cantidad total (m o m2)	CDV	PCI	Intervención definitiva	Costo Intervención	Costo total del mantenimiento
Agrietamiento en bloque	media	40,95	15,8484017	77,3309497	Sellado de grietas m2	\$ 1.823.585	\$ 3.927.722
Agrietamiento en bloque	baja	47,25	22,6690503		Sellado de grietas m2	\$ 2.104.137	
Hueco	baja	0,086	22,2313378		No intervenir	\$ -	

TRAMO 08							
Daño	Severidad	Cantidad total (m o m2)	CDV	PCI	Intervención definitiva	Costo Intervención	Costo total del mantenimiento
Piel de cocodrilo	baja	47,25	34,5225581	58,901295	No intervenir	\$ -	\$ -
Grietas longitudinales y transversales	baja	68,5	38,8742329		No intervenir	\$ -	
Parqueo	media	1,26	41,098705		No intervenir	\$ -	
TRAMO 09							
Daño	Severidad	Cantidad total (m o m2)	CDV	PCI	Intervención definitiva	Costo Intervención	Costo total del mantenimiento
Agrietamiento en bloque	media	40,95	24,7085181	75,2914819	Sellado de grietas m2	\$ 1.823.585	\$ 1.823.585
Grietas longitudinales y transversales	baja	88,5	20,2313378		No intervenir	\$ -	
TRAMO 10							
Daño	Severidad	Cantidad total (m o m2)	CDV	PCI	Intervención definitiva	Costo Intervención	Costo total del mantenimiento
Agrietamiento en bloque	media	163,49	47,3904464	47,3072227	Sobrecarpeta	\$ 19.167.487	\$ 19.882.591
Piel de cocodrilo	alta	3,57	51,7005353		Parqueo	\$ 294.427	
Parqueo	media	5,04	51,8147597		Parqueo	\$ 415.662	
Parqueo	baja	20,02	52,6927773		No intervenir	\$ -	
Hueco	baja	0,0608	41,3815339		Parqueo	\$ 5.014	

					TOTAL	\$ 124.444.872
--	--	--	--	--	--------------	-----------------------

Los resultados de las intervenciones y los costos de mantenimiento en la macro fueron iguales a los calculados de manera manual, solo existieron cambios leves en los valores de la evaluación de la condición del pavimento. Dichos cambios oscilaban entre cero y tres unidades en el resultado final,

lo cual no fue significativo para los resultados de la metodología, a continuación, se presentan las diferencias en los valores de la PCI para el cálculo manual y el cálculo llevado a cabo mediante la macro de Excel.

Tabla 36. Diferencia en el cálculo de la PCI de forma manual vs automática

Tramo	PCI (manual)	PCI (macro)	Diferencia	Diferencia (%)
1	28	25	3	11%
2	63	65	2	3%
3	25	26	1	4%
4	21	23	2	10%
5	12	9	3	25%
6	45	46	1	2%
7	77	77	0	0%
8	61	59	2	3%
9	74	75	1	1%
10	47	47	0	0%

4. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

Un segmento de vía puede contar con evaluaciones de condición superficial del pavimento muy diferentes en cada uno de sus tramos, como fue el caso del segmento de vía analizado, por esta razón el valor de la condición superficial del pavimento de todo el segmento de vía no es un valor recomendado para realizar análisis sobre la gestión del mantenimiento de la vía.

Como se menciona en el desarrollo de los precios unitarios, los valores y costos de mantenimiento proporcionados por la metodología no son más que valores de referencia que buscan aproximarse a los costos directos de las actividades de mantenimiento, pero estos pueden verse drásticamente afectados por aspectos como la disponibilidad de la mano de obra, equipos y materiales, distancia de la obra a los botaderos autorizados, distancia de la obra a las bodegas que suministran los materiales, condiciones ambientales, horarios disponibles para desarrollar las obras, entre otros.

La metodología en la selección de intervenciones o actividades de mantenimiento, siempre priorizo el factor económico, pero se debe tener en cuenta que existen algunas condiciones en las que se debe realizar algún proceso de mantenimiento sobre el pavimento, debido a que pueden poner en riesgo a los usuarios de las vías. Este es el caso de los niveles de severidad en algunas fallas que no brindan la posibilidad de No Intervenir, por lo que la aparición de estas fallas en determinados niveles de severidad, siempre deben ser intervenidos.

Definir la zona optima de rehabilitación con base en la calificación de la condición superficial del pavimento (PCI), fue de gran importancia para determinar los casos en que se debía utilizar la intervención de conservación de la vía sobre la intervención desde el punto de vista económico, ya que eran casos en los que posiblemente la zona no requería que fueran intervenida de inmediato, pero debido a la paupérrima condición de la vía lo ideal era intervenir la zona rápidamente, porque en este estado de la vía la rata de deterioro se incrementa considerablemente.

La metodología propuesta supone que las fallas que se encuentran en mismo tramo están juntas o a muy poca distancia, lo cual puede no ser verídico en todos los casos, ya que se pueden tener distancias de hasta 33 metros en los peores casos para la vía analizada, lo que puede inducir a aumentar el costo unitario de las actividades de mantenimiento, por la disminución del rendimiento de la mano de obra y equipos, debido a los desplazamientos del personal, equipos y materiales, además de aumentar los tiempos contributivos y perdidos en la mano de obra.

La metodología de evaluación de la condición superficial de pavimentos VIZIR, no tiene en cuenta todas las fallas superficiales al momento de evaluar el pavimento de una vía, por lo que su evaluación solo reflejara la condición de la superficie del pavimento con respecto a las fallas estructurales, por esto se decidió basar la metodología en la evaluación de pavimentos PCI, ya que la metodología propuesta en este trabajo evalúa todas las fallas superficiales de los pavimentos al igual que la PCI.

En el desarrollo del levantamiento de fallas superficiales de la vía seleccionada se tardó mucho tiempo a pesar de que el segmento no era muy grande y se necesitó de la ayuda de otra persona, ya que tomar los datos con menos de dos personas era bastante complicado, por esta razón se espera que las concesiones y empresas encargadas de la gestión del mantenimiento de las vías empiecen a aplicar procesos y metodologías de recolección de datos de manera automática, para disminuir los costos y tiempos en este proceso e incluso mejorar la calidad de la información.

No se logró cumplir los objetivos a cabalidad, ya que en un principio se pensaba trabajar la información de las fallas de la vía mediante la inspección de imágenes proporcionadas por el dispositivo de la empresa CONASFALTOS, pero se encontraron dificultades en el funcionamiento de este dispositivo, por lo que se tuvo que realizar un cambio en la obtención de la información de las fallas presentes en los segmentos de vías analizados, pasando de la inspección de imágenes al levantamiento de fallas superficiales en campo con el apoyo de manuales de inspección visual de pavimentos.

Luego de validar la metodología de intervención con los expertos se concluyó que la metodología era pertinente y un adecuado comienzo para implementar una herramienta de apoyo en la gestión de mantenimiento de pavimentos, aun así, los expertos recalcaron que la metodología presenta algunas falencias, como la no inclusión fallas y tratamientos en el sistema de drenaje de la vía, tampoco incluye daños o problemas en la estructura de la vía ni se tiene en cuenta análisis de TPD.

El proyecto se presta para que siga siendo trabajado por futuras tesis o proyectos de investigación, ya que son muchos los aspectos que se pueden mejorar o complementar, entre los cuales resaltan aspectos como continuar desarrollando el programa de Excel, con la intención de que sea más fácil y rápido realizar el levantamiento de fallas, con solo indicar la información medida en campo y de esta manera evitar la subjetividad al momento de definir el nivel de severidad de las fallas. También se puede completar la metodología de intervención implementado las fallas que hasta el momento no está contemplando la metodología y que recomendaban agregar los expertos. Por último, se podría desarrollar un sistema para importar la información obtenida en campo a un programa de información georreferenciada como ArcGis, con la intención de obtener datos sobre la distribución de las fallas en la vía y poder ajustar de una mejor manera los costos unitarios de las tareas de mantenimiento propuestas o poder observar con mayor claridad las zonas que se encuentran más afectadas de la vía.

REFERENCIAS

- Alternativas VIALES. (2012). PAVIMENTOS CAPÍTULO V TOMO II. *Alternativas VIALES*.
- Amaya Carmargo, A. F., & Rojas Guavita, E. (s.f.). Análisis comparativo entre metodología vizir y pci para la auscultación visual de pavimentos flexibles en la ciudad de Bogotá. (*Título de pregrado*). Universidad Santo Tomas, Bogotá.
- B., A. J. (2005). Manual de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos flexibles.
- Chambon, S., & Moliard, J. (2013). *HAL archives-ouvertes*. Obtenido de <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00612165/document>
- Construdata. (5 de Julio de 2013). *¿cómo se construye en colombia?* Obtenido de Construdata:
http://www.construdata.com/Bc/Otros/Archivos/como_se_construye_en_colombia.asp?Id_Tarea=_IDTAREA_&Email={{EMAIL}}
- Daniel, B. D. (2005). PAVEMENT CONDITION INDEX METHOD.
- El Pais. (01 de febrero de 2013). Mal estado de vías en Colombia generan 35% en sobre costos a transportadores. *El Pais*.
- Fonseca, A. M. (2006). *Ingeniería de pavimentos Tomo II*. Colombia: Universidad Catolica de Colombia.
- Gonzales, D. (2018). Metodologías de preparación para pavimentos flexibles de mediano y bajo tránsito. (*Tesis de pregrado*). Universidad Andres Bello, Santiago.
- Guevara Enriquez, L. F., Valencia Escalante, R. E., & Chuico Rey, P. I. (2016). Tipos de tratamientos superficiales para el mantenimiento vial para pavimento flexible.
- Haleem Rubasi, K. A. (2016). The Road Pavement Condition Index (PCI). *Organization, Technology and Management in Construction*.
- Higuera, C. S. (16 de Noviembre de 2009). *Gestion y auscultacion*. Obtenido de www.gestionyauscultacion.com
- Huertas Becerra, R., & Cel Herazo, R. (2013). Memoria tecnica sobre la rehabilitación de 3400 m2 de vías locales de acceso a bodegas ubicadas en la carrera 7 con calle 200 costado occidental Bogotá. (*Título de especialista*). Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá.
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. (2013). Instruccion para la inspección visual y evaluación de los deterioros de los pavimentos asfálticos en carreteras. *Guia metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras*.
- INVIAS. (2006). *INVIAS*. Obtenido de <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/manuales-de-inspeccion-de-obras/974-manual-para-la-inspeccion-visual-de-pavimentos-flexibles/file>

- INVIAS. (2017). *INVIAS instituto nacional de vias*. Obtenido de <https://www.invias.gov.co/index.php/component/content/article/2-uncategorised/57-estado-de-la-red-vial>
- Jose Hereida & asociados C.A. (2009). *Clasificación de las fallas del pavimento flexible y rígido*.
- Kraemer, C., Del Val, M. A., Pardillo, J. M., Rocci, S., Romana, M., & Sanchez, V. (2004). *Ingeniería de carreteras*. España: Concepción Fernandez Madrid.
- Leiva, F. (2005). *SISTEMAS DE SOPORTE PARA LA TOMA DE DECISIONES EN LA ADMINISTRACION DE CARRETERAS*. San Jose.
- Marrugo, C. (s.f.). Evaluación de la metodología VIZIR como herramienta para la toma de decisiones en las intervenciones a realizar en los pavimentos flexibles. (*Titulo de pregrado*). Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá.
- Ministerio de transporte & Universidad Javeriana. (s.f.). *Slideshare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/hmartinezbarbosa/manual-de-mantenimiento-de-pavimentos-invias-1>
- Miranda Rabolledo, R. (2010). *Cybertesis*. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/bmfcim672d/doc/bmfcim672d.pdf>
- Miro, R., Centeno, M., Martinez, A., & Perex, F. (2007). Evaluación de los métodos de reciclado y rehabilitación de firmes a partir del analisis de los tramos experimentales del proyecto europeo PARAMIX. *INFRAESTRUCTURA VIAL*.
- Montiel, A. (2010). Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos. (*Titulo de pregrado*). Universidad Austral de Chile, Valdivia.
- Montoya Goicochea, J. (2007). *Cybertesis*. Obtenido de http://cybertesis.urp.edu.pe/bitstream/urp/137/1/montoya_je.pdf
- Muñoz, G. P. (2016). Desarrollo de las curvas de deterioro para pavimento flexible y factor de incertidumbre. *Revista de infraestructura vial*.
- Porras Diaz, H., Ramon Suarez, J. H., Mejia Melgarejo, Y. H., & Parra Rodriguez, J. M. (2014). *SISTEMAS AUTOMÁTICOS PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS*. Bucaramanga.
- Rico, A., Tellez, R., & Garnica, P. (1998). *Secretaria de comunicaciones y transporte*. Obtenido de <http://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt104.pdf>
- Rond Quintana, H. A. (2010). *Pavimentos Flexibles*. España: Acad Mica Espa Ola.
- Sierra Diaz, C., & Rivas Quintero, A. (2016). Aplicación y comparación de las diferentes metodologías de diagnostico para la conservación y mantenimiento del tramo PR 00 +000 - PR 01+120 de la vía al llano (DG 78 BIS SUR - Calle 84 SUR) en la UPZ YOMASA. (*titulo de pregrado*). Universidad Catolica de Colombia, Bogotá.
- U.S. Department of Transportation. (2003). *Distress identification manual*.

- Umaña, A. M. (2015). Diseño de la intervención para la estructura de pavimento flexible en secciones representativas de la red vial cantonal de Curridabat. *ICOTEC*.
- Valencia, J. A. (2007). "AUSCULTACIÓN, CALIFICACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL Y EVALUACION ECONOMICA DE LA CARRETERA SECTOR PUENTE DE LA LIBERTAD MALTERIA DESDE EL K0+000 HASTA EL K6+000. Manizales.
- Varela, L. R. (2002). PAVEMENT CONDITION INDEX. *Ingepav*.
- VARELA, L. R. (2002). PAVEMENT CONSITION INDEX (PCI) Para pavimentos asfalticos y de concreto en carretera. *ingepav*.
- Vega posada, C., & Arboleda Monsalve, L. (2013). Long term performance of existing asphalt concrete pavement sections. *Facultad de ingenieria, Universidad de Antioquia*, 45-56.
- VERA, I., THENOUX, G., SOLMINIHAC, H. D., & ECHAVEGUREN, T. (2010). Modelo de evaluación técnica del desempeño del mantenimiento de pavimentos flexibles. *Revista de la Construcción*.

ANEXO 1. Registro fotográfico del levantamiento de fallas













ANEXO 2. Análisis de precios unitarios de las actividades de mantenimiento propuestas

APU sellado de grietas con ruteo

Item	Descripción	Unidad	Rendimiento			
1.0	Sellado de grietas con ruteo	m	240			
	EQUIPO					
	Descripción			Tarifa (hora)	Rendimiento (u/hora)	Valor Unitario (\$)
	Derretidora de asfalto			\$ 2.428	30	\$ 81
	Ruteadora			\$ 4.149	30	\$ 138
	Compresor (barrido y soplado)			\$ 69.767	30	\$ 2.326
	Camioneta D-300			\$ 54.271	30	\$ 1.809
	Herramienta menor					\$ 218
	Subttotal					\$ 4.572
	MATERIALES					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Desperdicio	Precio Unitario (\$)	Valor Unitario (\$)
	Arena de trituración	m3	0,012	10%	\$ 48.930	\$ 646
	Emulsión CRR-2	kg	0,23	20%	\$ 5.000	\$ 1.380
	Subtotal					\$ 2.026
	MANO DE OBRA					
	Nombre	Cantidad	Factor prestacional (%)	Valor (día)	Rendimiento (u/día)	Valor Unitario (\$)
	Ayudante	2	85%	\$ 99.900	240	\$ 416
	Oficial	1	85%	\$ 98.050	240	\$ 409
	Subtotal					\$ 825
	TOTAL					\$ 7.422

APU Tratamiento superficial doble con emulsión CRR-2

Item	Descripción	Unidad	Rendimiento			
2.1	Tratamiento superficial doble con emulsión CRR-2	m2	400			
EQUIPO						
Descripción				Tarifa (hora)	Rendimiento (u/hora)	Valor Unitario (\$)
Carrotanque irrigador de asfalto, 1000 Galones de capacidad				\$ 123.299	200	\$ 616
Compactador neumático de Potencia 70 HP, peso de 13 ton				\$ 125.405	200	\$ 627
Compresor (barrido y soplado)☐				\$ 73.255	200	\$ 366
Esparcidor de gravilla, Ancho de esparcimiento 3100mm				\$ 79.421	200	\$ 397
Herramienta menor						\$ 100
Subttotal						\$ 2.107
MATERIALES						
Descripción		Unidad	Cantidad	Desperdicio	Precio Unitario (\$)	Valor Unitario (\$)
Emulsión CRR-2		lt	4,24	5%	\$ 1.356	\$ 6.035
Agregado para tratamiento superficial doble 1er riego		m3	0,025	5%	\$ 48.911	\$ 1.284
Agregado para tratamiento superficial doble 2do riego		m3	0,013	5%	\$ 48.911	\$ 668
Subtotal						\$ 7.986
MANO DE OBRA						
Nombre		Cantidad	Factor prestacional (%)	Valor (día)	Rendimiento (und/día)	Valor Unitario (\$)
Oficial		2	85%	\$ 99.900	400	\$ 250
Obrero		1	85%	\$ 98.050	400	\$ 245
Subtotal						\$ 495
TOTAL						\$ 10.589

APU Sello superficial arena-emulsión CRR-2

Item	Descripción	Unidad	Rendimiento			
2.2	Sello superficial arena-emulsión CRR-2M	m	400			
EQUIPO						
Descripción				Tarifa (hora)	Rendimiento (u/hora)	Valor Unitario (\$)
Carrotanque irrigador de asfalto (1000 galones)				\$ 123.299	250	\$ 493
Compactador neumático de Potencia 70 HP, peso de 13 ton				\$ 125.405	250	\$ 502
Volqueta con esparcidor de gravilla				\$ 73.900	250	\$ 296
Herramienta menor						\$ 65
Subttotal						\$ 1.355
MATERIALES						
Descripción		Unidad	Cantidad	Desperdicio	Precio Unitario (\$)	Valor Unitario (\$)
Arena de trituración		m3	0,03	5%	\$ 48.930	\$ 1.541
Emulsión CRR-2		lt	1,1	5%	\$ 1.356	\$ 1.566
Subtotal						\$ 3.107
MANO DE OBRA						
Nombre		Cantidad	Factor prestacional (%)	Valor (día)	Rendimiento (u/día)	Valor Unitario (\$)
Ayudante		1	85%	\$ 49.950	400	\$ 125
Oficial		1	85%	\$ 98.050	400	\$ 245
Subtotal						\$ 370
TOTAL						\$ 4.832

APU Parcheo en pavimento flexible e = 0.1 m

Item	Descripción	Unidad	Rendimiento			
3.0	Parcheo en pavimento flexible e = 0,1 m	m2	50			
	EQUIPO					
	Descripción			Tarifa (hora)	Rendimiento (und/hor)	Valor Unitario (\$)
	Compresor (barrido y soplado)			\$ 73.255	19	\$ 3.856
	Compactador neumatico de potencia 70 HP			\$ 125.405	17	\$ 7.377
	Cortadora de pavimento			\$ 6.028	19	\$ 317
	Herramienta menor					\$ 386
	Subtotal					\$ 11.935
	MATERIALES					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Desperdicio	Precio Unitario (\$)	Valor Unitario (\$)
	Emulsión CRR-1	lt	0,6	10%	\$ 1.319	\$ 871
	Mezcla asfaltica MDC 19	m3	0,1	25%	\$ 390.000	\$ 48.750
	Subtotal					\$ 49.621
	TRANSPORTE					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Valor Unitario (\$)	
	Transporte de material asfaltico	m3-km	10	\$ 1.050	\$ 10.500	
	Transporte de maquinaria pesada	km	0,06	\$ 25.000	\$ 1.500	
	Subtotal					\$ 12.000
	MANO DE OBRA					
	Descripción	Cantidad	Factor prestacional	Valor (dia)	Rendimiento (und/dia)	Valor Unitario (\$)
	Ayudante	5	85%	\$ 249.750	50	\$ 4.995
	Oficial	1	85%	\$ 98.050	50	\$ 1.961
	Rastrillero	1	85%	\$ 98.050	50	\$ 1.961
	Subtotal					\$ 8.917
	TOTAL					\$ 82.473

APU Sobrecarpeta o fresado de 10cm + Mezcla asfáltica

Item	Descripción	Unidad	Rendimiento			
4.0	Sobrecarpeta o Fresado de 10 cm + Mezcla densa en caliente tipo MDC-19	m2	80			
	EQUIPO					
	Descripción			Tarifa (hora)	Rendimiento (u/hora)	Valor Unitario (\$)
	Barredora mecanica de cepillo			\$ 71.741	100	\$ 717
	Cargador : Potencia en el volante 110 hp.			\$ 180.693	100	\$ 1.807
	Fresadora de pavimento, potencia 255 HP, peso 19 Ton			\$ 405.022	100	\$ 4.050
	Compactador neumatico de 70 HP			\$ 125.405	10	\$ 12.540
	Terminadora de asfalto (finisher) potencia al volante de 174 HP			\$ 150.750	10	\$ 15.075
	Vibrocompactador, potencia 153 HP			\$ 95.000	10	\$ 9.500
	Herramienta menor					\$ 2.058
	Subttotal					\$ 43.224
	MATERIALES					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Desperdicio	Precio Unitario (\$)	Valor Unitario (\$)
	Emulsión CRR-1	lt	0,6	10%	\$ 1.319	\$ 871
	Mezcla asfáltica MDC - 19	m3	0,1	25%	\$ 390.000	\$ 48.750
	Subtotal					\$ 49.621
	MANO DE OBRA					
	Nombre	Cantidad	Factor prestacional	Valor (dia)	Rendimiento (u/dia)	Valor Unitario (\$)
Ayudante	12	85%	\$ 599.400	80	\$ 7.493	
Oficial	3	85%	\$ 294.150	80	\$ 3.677	
Rastrillero	1	85%	\$ 98.050	80	\$ 1.226	
Subtotal					\$ 12.395	
TRANSPORTE						
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Valor Unitario (\$)	
Transporte de material asfaltico		m3-km	10	\$ 1.050	\$ 10.500	
Transporte de maquinaria pesada		km	0,06	\$ 25.000	\$ 1.500	
Subtotal					\$ 12.000	
TOTAL					\$ 117.240	

APU Reconstrucción de pavimento

Item	Descripción	Unidad	Rendimiento			
5.0	Reconstrucción (subbase 0.2 / base 0.15 / base asf. MD-20 0.08 / rodadura asf. MD-12 0.06)	m2	40			
	Demolición de pavimento flexible manual hasta 20 cm (m2)					
	EQUIPO					
	Descripción			Tarifa (hora)	Rendimiento (u/hora)	Valor Unitario (\$)
	1er Compresor 120 HP, con martillo			\$ 98.395	5,5	\$ 17.890
	Herramienta menor					\$ 895
	Subtotal					\$ 18.785
	MANO DE OBRA					
	Nombre	Cantidad	Factor prestacional	Valor (día)	Rendimiento (u/día)	Valor Unitario (\$)
	Ayudante	2	85%	\$ 99.900	5,5	\$ 18.164
	Subtotal					\$ 18.164
	TOTAL					\$ 36.948
	Transporte de material hasta botadero (m3 - km)					
	EQUIPO					
	Descripción			Tarifa (hora)	Rendimiento (u/hora)	Valor Unitario (\$)
	Volqueta 6 m3			\$ 82.683	81,63	\$ 1.013
	Subtotal					\$ 1.013
	OTROS					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor	Rendimiento	Valor Unitario (\$)
	Disposición final en botadero	m3	1	\$ 2.200	2,04	\$ 1.078,00
	Subtotal					\$ 2.090,87
	TOTAL					\$ 3.103,73
	Pavimento asfáltico con MDC 19 (base asf + rodadura asf)					
	MATERIAL					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Desperdicio	Precio unitario (\$)	Valor Unitario (\$)
	Mezcla asfáltica MDC 19	m3	0,14	25%	\$ 390.000	\$ 68.250
	Emulsión CRR-1	lt	0,6	10%	\$ 1.319	\$ 871
	Subtotal					\$ 69.121
	TRANSPORTE					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Valor Unitario (\$)	
	Transporte de material asfáltico	m3-km	5,6	\$ 1.050	\$ 5.880	
	Transporte de maquinaria pesada	km	0,075	\$ 25.000	\$ 1.875	
	Subtotal					\$ 7.755
	MANO DE OBRA					
	Nombre	Cantidad	Factor prestacional	Valor (día)	Rendimiento (u/día)	Valor Unitario (\$)
	Ayudante	6	85%	\$ 299.700	200,00	\$ 1.499
	Oficial	4	85%	\$ 392.200	200,00	\$ 1.961
	Subtotal					\$ 3.460
	EQUIPO					
	Descripción			Tarifa (hora)	Rendimiento (u/hora)	Valor Unitario (\$)
	Cilindro compactador vibratorio PS - 30			\$ 80.000	102,04	\$ 784,00
	Compactador neumatico con tractor			\$ 110.432	102,04	\$ 1.082,23
	Finicher (pavimentadora) con operario			\$ 157.507	178,57	\$ 882,04
	Herramienta menor					\$ 137,41
	Subtotal					\$ 2.886
	TOTAL					\$ 83.221

Base granular					
EQUIPO					
Descripción			Tarifa (hora)	Rendimiento (u/hora)	Valor Unitario (\$)
Carrotanque de agua(1000 Galones)			\$ 64.079	200	\$ 320
Motoniveladora potencia 215 HP, ancho de cuchilla 4,27 m, peso 18 ton.			\$ 178.900	200	\$ 894
Vibrocompactador, potencia 153 HP, peso 10 Ton.			\$ 120.331	200	\$ 602
Herramienta menor (%Equipo)					\$ 91
Subtotal					\$ 1.907
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Desperdicio	Precio unitario (\$)	Valor Unitario (\$)
Material de base (gradación 3)	m3	0,15	20%	\$ 62.741	\$ 11.293
Agua	lt	0,17	20%	\$ 47	\$ 10
Subtotal					\$ 11.303
TRANSPORTE					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Valor Unitario (\$)
Transporte de material de base		m3-km	6	\$ 1.050	\$ 6.300
Subtotal					\$ 6.300
MANO DE OBRA					
Nombre	Cantidad	Factor prestacional	Valor (dia)	Rendimiento (u/dia)	Valor Unitario (\$)
Ayudante	2	85%	\$ 99.900	1000	\$ 100
Oficial	1	85%	\$ 98.050	1000	\$ 98
Subtotal					99,9
TOTAL					\$ 19.610
Subbase granular					
EQUIPO			Tarifa /hora	Rendimiento	Valor unitario (\$)
Carrotanque de agua(1000 Galones)			\$ 64.079	225	\$ 285
Motoniveladora potencia 215 HP, ancho de cuchilla 4,27 m, peso 18 ton.			\$ 178.900	225	\$ 795
Vibrocompactador, potencia 153 HP, peso 10 Ton.			\$ 120.331	225	\$ 535
Herramienta menor					\$ 81
Subtotal					\$ 1.695
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Desperdicio	Precio unitario (\$)	Valor Unitario (\$)
Material de sub-base	m3	0,2	20%	47745	\$ 11.459
Agua	lt	0,17	20%	47	\$ 10
Subtotal					\$ 11.468
TRANSPORTE					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Valor Unitario (\$)
Transporte de material de sub-base		m3-km	8	\$ 1.050	\$ 8.400
Subtotal					\$ 8.400
MANO DE OBRA					
Nombre	Cantidad	Factor prestacional	Valor (dia)	Rendimiento (u/dia)	Valor Unitario (\$)
Ayudante	2	85%	\$ 99.900	1500	\$ 67
Oficial	1	85%	\$ 98.050	1500	\$ 65
Subtotal					\$ 132
TOTAL					\$ 21.696
GRAN TOTAL					\$ 164.579

APU Renivelación de la berma severidad baja

Item	Descripción	Unidad	Rendimiento			
6.1	Renivelación de la berma severidad baja (diferencia de nivel =50mm)	m	38			
	EQUIPO					
	Descripción			Tarifa (hora)	Rendimiento (und/ho	Valor Unitario (\$)
	Cortadora de pavimento			\$ 6.028	14,6	\$ 412
	Compresor (barrido y soplado)			\$ 73.255	14,6	\$ 5.012
	Compactador manual de rodillo			\$ 21.790	15,4	\$ 1.416
	Herramienta menor					\$ 342
	Subtotal					\$ 7.183
	MATERIALES					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Desperdicio	Precio Unitario (\$)	Valor Unitario (\$)
	Emulsión CRR-1	lt	0,78	10%	\$ 1.319	\$ 1.132
	Mezcla asfáltica MDC 19	m3	0,065	25%	\$ 390.000	\$ 31.688
	Subtotal					\$ 32.819
	TRANSPORTE					
	Descripción	Unidad	Cantidad		Precio Unitario (\$)	Valor Unitario (\$)
	Transporte de material asfáltico	m3-km	6,5		\$ 1.050	\$ 6.825
	Transporte de maquinaria pesada	km	0,06		\$ 25.000	\$ 1.500
	Subtotal					\$ 8.325
	MANO DE OBRA					
	Descripción	Cantidad	Factor prestacional	Valor (dia)	Rendimiento (und/dia	Valor Unitario (\$)
	Ayudante	5	85%	\$ 249.750	38,5	\$ 6.494
	Oficial	1	85%	\$ 98.050	38,5	\$ 2.549
	Rastrillero	1	85%	\$ 98.050	38,5	\$ 2.549
	Subtotal					\$ 11.592
	TOTAL					\$ 59.919

APU Renivelación de la berma severidad media

Item	Descripción	Unidad	Rendimiento			
6.2	Renivelación de la berma severidad media (diferencia de nivel = 100mm)	m	38			
	EQUIPO					
	Descripción			Tarifa (hora)	Rendimiento (u/hora)	Valor Unitario (\$)
	Cortadora de pavimento			\$ 6.028	14,6	\$ 412
	Compresor (barrido y soplado)			\$ 73.255	14,6	\$ 5.012
	Compactador manual de rodillo			\$ 21.790	15,4	\$ 1.416
	Herramienta menor					\$ 342
	Subtotal					\$ 7.183
	MATERIALES					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Desperdicio	Precio Unitario (\$)	Valor Unitario (\$)
	Emulsión CRR-1	lt	0,78	10%	\$ 1.319	\$ 1.132
	Mezcla asfáltica MDC 19	m3	0,13	25%	\$ 390.000	\$ 63.375
	Subtotal					\$ 64.507
	TRANSPORTE					
	Descripción	Unidad	Cantidad		Precio Unitario (\$)	Valor Unitario (\$)
	Transporte de material asfáltico	m3-km	13		\$ 1.050	\$ 13.650
	Transporte de maquinaria pesada	km	0,06		\$ 25.000	\$ 1.500
	Subtotal					\$ 15.150
	MANO DE OBRA					
	Descripción	Cantidad	Factor prestacional	Valor (dia)	Rendimiento (u/dia)	Valor Unitario (\$)
	Ayudante	5	85%	\$ 249.750	38,5	\$ 6.494
	Oficial	1	85%	\$ 98.050	38,5	\$ 2.549
	Rastrillero	1	85%	\$ 98.050	38,5	\$ 2.549
	Subtotal					\$ 11.592
	TOTAL					\$ 98.432

APU Renivelación de la berma severidad alta

Item	Descripción	Unidad	Rendimiento			
6.3	Renivelación de la berma severidad alta (diferencia de nivel = 200mm)	m	38			
	EQUIPO					
	Descripción			Tarifa (hora)	Rendimiento (und/hor)	Valor Unitario (\$)
	Cortadora de pavimento			\$ 6.028	14,6	\$ 412
	Compresor (barrido y soplado)			\$ 73.255	14,6	\$ 5.012
	Compactador manual de rodillo			\$ 21.790	15,4	\$ 1.416
	Herramienta menor					\$ 342
	Subtotal					\$ 7.183
	MATERIALES					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Desperdicio	Precio Unitario (\$)	Valor Unitario (\$)
	Emulsión CRR-1	lt	0,78	10%	\$ 1.319	\$ 1.132
	Mezcla asfáltica MDC 19	m3	0,26	25%	\$ 390.000	\$ 126.750
	Subtotal					\$ 127.882
	TRANSPORTE					
	Descripción		Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Valor Unitario (\$)
	Transporte de material asfáltico		m3-km	26	\$ 1.050	\$ 27.300
	Transporte de maquinaria pesada		km	0,06	\$ 25.000	\$ 1.500
	Subtotal					\$ 28.800
	MANO DE OBRA					
	Descripción	Cantidad	Factor prestacional	Valor (día)	Rendimiento (und/día)	Valor Unitario (\$)
	Ayudante	5	85%	\$ 249.750	38,5	\$ 6.494
	Oficial	1	85%	\$ 98.050	38,5	\$ 2.549
	Rastrillero	1	85%	\$ 98.050	38,5	\$ 2.549
	Subtotal					\$ 11.592
	TOTAL					\$ 175.457

